



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université ABOU BEKR BELKAID
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département Génie Electrique et Electronique



MÉMOIRE DE MASTER

Présentée par

OUADAH Sofiane, option : management de l'ingénierie

DJELLAL Fateh, option : ingénierie des systèmes

Spécialité : Génie Industriel

SUJET

CONTRIBUTION A LA GESTION ET A L'OPTIMISATION POUR LA RÉOLUTION DU PROBLEME DE STOCKAGE DE CONTENEURS « CAS DE L'ENTREPRISE PORTUAIRE DE GHAZAOUET »

Soutenue le : 17/06/2017 à Tlemcen

Devant un jury composé de :

Président : **MELIANI Sidi Mohamed** chef département G.E.E à l'université de Tlemcen

Examineurs :

MANGOUCI Ahmed (MCB) à l'université de Tlemcen

BENSMAINE Abderrahmane (MCB) à l'université de Tlemcen

Encadreur : **BELARBI Boumediene** (MAA) à l'université de Tlemcen

Dédicaces 1 :

A mes chers parents ;

A mes chères frères et sœurs ;

A tous mes amis.

Sofiane

Dédicaces 2 :

À la plus belle créature que Dieu

A créée pour moi sur cette terre,

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,

À mon père et ma mère !!!

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants,

À tous mes amis et collègues

À tous ceux qui, par un mot,

M'ont donné la force de continuer

Fateh

Remerciements

*Nos sincères remerciements à ALLAH Rabbi Rabbou el Archi El 3addim,
Et à Monsieur BELARBI Boumediene Professeur à l'Université de Tlemcen,
pour avoir accepté de nous encadrer, et de nous aider tous le long de ce projet,
avec sa confiance et ses conseils qui nous ont étaient très bénéfiques pour
la finalisation de ce travail.*

Nos sincères remerciements vont à :

*Monsieur BENCHNAFI, Directeur d'exploitation au Port Maritime de
Ghazaouet, pour les collaborations, pour les discussions enrichissantes,
et pour avoir accepté d'examiner notre stage.*

Et surtout à :

*Monsieur MENKOURI, Chargé de mission suivi marchandise, et à
Monsieur DJEMAA, chef de département commerciale.*

*Nos remerciements s'étendent également à toute l'équipe du laboratoire de Génie
industriel, d'avoir accepté de rapporter ce mémoire et pour leurs remarques qui
nous ont permis d'améliorer la qualité de ce manuscrit.*

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

Merci à nos mères pour leur tendresse, leur attention et leurs encouragements.

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

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

Table des matières

Table des matières	5
Liste des tableaux	8
Liste des figures	9
Liste des Sigles et Abréviations	12
Introduction Générale	13
Partie A : ÉTAT DE L'ART	16
Chapitre I : les Conteneurs et la Conteneurisation	18
1.1 Introduction	18
1.2 Les Conteneur	18
1.2.1 La naissance du conteneur	18
1.2.2 Description et propriétés du conteneur	19
1.2.3 La structure du conteneur	20
1.2.4 Les différents types de conteneurs	20
1.2.5 Le principe de la standardisation	24
1.3 La Conteneurisation	27
1.3.1 Les avantages de la conteneurisation	27
1.4 Conclusion	29
Chapitre II : les porte-conteneurs	31
2.1 Introduction	31
2.2 Généralités	31
2.2.1 Définitions	31
2.2.2 L'évolution	31
2.2.3 Les différentiels types de porte-conteneur	32
2.2.4 Les dispositions générales	32
2.2.5 La construction	32
2.3 L'exploitation à bord	34
2.3.1 Le plan de chargement	34
2.3.2 La localisation des conteneurs à bord	35
2.4 Structures et développements des ports	36
2.5 Entreprise Portuaire de Ghazaouet	38
2.5.1 Présentation et Activités	38
2.5.2 Situation géographique	40

2.5.3 Infrastructures et superstructures du port de Ghazaouet	41
2.6 Conclusion	43
Chapitre III : Processus d'un Terminal Maritime de Conteneurs	45
3.1 Introduction	45
3.2 Les différents terminaux dans les ports commerciaux	45
3.2.1 Terminal	45
3.3 Les équipements d'un terminal maritime de conteneurs	48
3.4 Les différentes zones d'un terminal à conteneurs	48
3.4.1 Zone d'opérations portuaire	48
3.4.2 Zone de stockage du terminal	52
3.4.3 Zone d'opérations terrestres	55
3.5 Flux d'informations et systèmes de communication et de gestion des terminaux	57
3.5.1 Les flux en amont du terminal	57
3.5.2 Les flux interne du terminal	58
3.5.3 Les flux en aval du terminal	58
3.5.4 Les systèmes de communication et de gestion des terminaux	58
3.6 Môle de Djanet au niveau du port de Ghazaouet	59
3.6.1 Equipement de manutention	59
3.6.2 La direction d'exploitation	61
3.7 Les zones de stockage de conteneurs	66
3.7.1 Zones de visites	66
3.7.2 Ports Secs	67
3.8 Conclusion	67
Chapitre IV : le Problème de stockage de conteneurs	69
4.1 Introduction	69
4.2 Processus dans un terminal à conteneurs	69
4.2.1 Planification de navires	69
4.2.2 Transport sur le quai.....	70
4.2.3 Ordonnancement des équipements de manutention	72
4.3 Procédure de transport des conteneurs au môle de Djanet.....	72
4.3.1 Les intervenants dans la chaîne du transport maritime	74
4.3.2 Prestations de la Direction Capitainerie	75
4.3.3 Prestations de service Manutention et service Acconage	77
4.4 Problème de Stockage de conteneurs	80

4.4.1 Définition du PSC	80
4.5 Conclusion	84
Partie B : APROCHES DE RÉOLUTION	85
Chapitre I : Méthode et approches adoptées	87
1.1 Introduction	87
1.2 Les systèmes multi-agent	87
1.2.1 Qu'est qu'un agent	89
1.2.2 Qu'est ce qu'un Système Multi-Agent SMA	89
1.2.3 Simulation	91
1.3 Les Réseaux de PETRI	93
1.3.1 Réseaux de Pétri colorés et la plate-forme CPN-Tools	94
1.3.2 Les avantages des réseaux de Pétri	95
1.4 L'optimisation heuristique	95
1.4.1 Catégories des heuristiques	96
1.4.2 Classes d'heuristiques	97
1.5 Choix de l'approche de résolution	98
1.6 Conclusion	98
Chapitre II : Modélisation et résolution du problème de stockage de conteneurs PSC. 99	99
2.1 Introduction	100
2.2 La Gestion des stocks	100
2.3 Adaptation d'une stratégie de gestion selon les trois niveaux de planification	101
2.3.A La planification stratégique	101
2.3.B La planification tactique	103
2.3.C La planification opérationnelle	107
2.4 La modélisation du système de transport et stockage des conteneurs	109
2.5 La résolution du PSC par l'algorithme génétique appliqué sur le programme Java.....	113
2.5.A Algorithme génétique	113
2.5.B Exemple de programmation sur JAVA	116
2.6 Conclusion	124
Conclusion Générale	125
Bibliographie	126
Résumé	128
Abstract	129

Liste des tableaux

1.1 Dimensions d'un conteneur Super Ventilé.....	21
1.2 Dimensions d'un conteneur à Toit Ouvert	22
2.1 Les 10 premiers ports conteneurisés du monde en 2009	38
2.2 Quais et destinations.....	41
3.1 Equipement de manutention du port commercial de Ghazaouet	60
4.1 Les spécifications de la grue	82

Liste des figures

1	Le Marquage des Conteneurs	19
2	Container Dry ventilé	21
3	Container Frigorifique	22
4	Container Plate-forme à Parois Latérales Ouvertes	23
5	Container Citerne	23
6	La plate forme de conteneur	24
7	L'armature de conteneur	25
8	La porte du conteneur	25
9	Conteneur PLEIN et conteneur VIDE.....	26
10	Les pièces de coins de conteneur	26
11	Le turnover mondial de conteneurs (en million EVP)	27
12	Les différentes constituantes d'un bloc (BAY, ROW, TIER)	35
13	Schéma de l'E.P.G avant et maintenant	40
14	Situation Géographique du port de Ghazaouet	40
15	L'organigramme de l'entreprise	42
16	Moyens de manutention à quai	45
17	Terminal vrac-solide	46
18	Terminal vrac-liquide	46
19	Terminal roulier	47
20	Terminal passagers	47
21	Disposition d'un terminal maritime	48
22	Grue de quai	49
23	Véhicule guidé automatiquement	50
24	Système de convoyeur à moteur linéaire	51
25	Chariot cavalier	52
26	Terminal qui utilise des RTGCs	53
27	Terminal qui utilise des RMGCs	53
28	Terminal qui utilise Cavaliers gerbeurs	54
29	Pont roulant sur pneumatiques	54
30	Pont roulant sur rails	55
31	Guérite d'un terminal de conteneurs	56

32 Configuration du port de Ghazaouet	59
33 Schéma d'exploitation	61
34 Réalisation des prestations aux marchandises	62
35 Affectation de ressources humaines disponibles	65
36 Les zones de visites de conteneurs	66
37 Affectation des navires à des postes à quai	69
38 Types d'équipements de manutention	72
39 Grue de quai du môle de Djanet	72
40 STACKERS du môle de Djanet.....	73
41 Les intervenants de la chaine de transport maritime	74
42 l'accueil du navire	75
43 Planification des mouvements des navires	75
44 Mouvement des navires	76
45 Suivi des opérations de manutention et acconage	76
46 Transit des marchandises dangereuses	77
47 Embarquement et Débarquement	78
48 Stockage des marchandises	78
49 Les hauts niveaux de gerbage	81
50 Diagramme partiel des inters acteurs	82
51 Evolution des paradigmes de programmation	88
52 Les étapes néc essaires pour la conduite d'une simulation	92
53 Exemple d'un réseau de pétri	94
54 Classification des méthodes d'optimisation	97
55 Model de stockage de conteneurs proposé pour l'EPG	111
56 Processus de déchargement des 20'	112
57 L'équipement STACKER Spreader et élévateur	112
58 Le principe des algorithmes génétiques.	113
59 Représentation d'une solution	114
60 L'interface du programme JAVA	116
61 Introduction des informations nécessaires de conteneurs	117
62 L'application des étapes de l'algorithme génétique	117
63 Population initiale	118
64 L'étape de sélection	119
65 l'étape de croisement	119

66	Modification de colonne numéro 7	120
67	Modification de colonne numéro 5	120
68	Modification de colonne numéro 11	121
69	Modification de colonne numéro 13	121
70	Modification de colonne numéro 11	122
71	Modification de colonnes numéro 8 et 7	122
72	Modification de colonne numéro 8	123
73	L'étape de mutation	123
74	La solution finale	124

Liste des Sigles et Abréviations

<i>ISO</i>	L'organisation internationale de Normalisation
<i>EVP, TEU</i>	Equivalent Vingt Pieds
<i>EPG :</i>	L'entreprise Portuaire de Ghazaouet
<i>AGV</i>	Véhicules Autoguidés
<i>CNP</i>	Conférence de Placement des Navires
<i>PSC</i>	Problème de Stockage de conteneurs
<i>SMA</i>	Systèmes Multi Agent

Introduction Générale

Avec l'évolution du phénomène de conteneurisation, les ports maritimes ont connu de grands développements des techniques de manutention.

Un terminal maritime à conteneurs se décompose en deux grandes zones, chacune étant caractérisée par ses propres opérations de manutention et ses équipements. En effet, dans la partie quai, les bateaux sont chargés / déchargés par des portiques de quai. Tandis-que dans la partie terrestre, appelée encore la cour, cette zone possède comme équipements les portiques de cour. Un autre équipement, qui est le véhicule de transport, assure la liaison entre ces deux zones.

La conteneurisation peut induire cependant des coûts élevés liés aux investissements en espace de stockage, à l'approvisionnement et entretien des équipements, aux temps morts ou mouvements inutiles durant le processus déchargement-stockage-chargement des conteneurs et au déséquilibre du flux de marchandises imposant des transports de conteneurs vides.

Dans notre cadre, améliorer la productivité revient à minimiser le **temps passé** par un conteneur ou un navire dans un port que ce soit en importation ou en exportation.

Néanmoins, l'optimisation de la gestion et de la logistique des conteneurs dans un port et plus précisément la gestion fine de placement des conteneurs apparaît comme un problème à part entière avec ses difficultés propres jouant un rôle prépondérant dans la minimisation des temps morts. Ce problème est connu dans la littérature par *Container Stacking Problem*. Il sera désigné dans la suite par l'acronyme PSC : " Problème de Stockage de Conteneurs ". Il s'agit de la manutention des conteneurs en import ou en export qui peut conduire à de nombreux déplacements ou remaniements inutiles, consistant à dépiler un nombre de conteneurs pour atteindre un conteneur bien déterminé placé en dessous de la pile. L'objectif donc, est de réduire ces déplacements appelés mouvements parasites ou remaniements *Shifting moves/ un productive moves*.

Ce problème est modélisé par un système complexe, dynamique et incertain dans lequel les interactions entre ses différents éléments (conteneurs, navires, ressources matérielles, etc.) sont en perpétuelles évolution (arrivées imprévues de conteneurs, départs estimés pour les conteneurs exportés, changements continus de variables) nécessitant, de ce fait, la remise en question de sa structure et de sa dynamisation.

Organisation du mémoire :

L'organisation de ce mémoire suit une progression ordonnée et notre travail est réparti en deux parties. La première, concerne l'état de l'art, tandis-que la deuxième, converge vers nos approches de résolution. Chacune de ces parties est composée de chapitres dont les objectifs sont relatés ci-dessous.

Partie A : État de l'art

Dans cette partie, nous présentons une étude bibliographique sur le problème de stockage de conteneurs. Et se comportera de quatre chapitres, et qui sont :

Chapitre I : Les Conteneurs et la Conteneurisation

Ce chapitre relate l'histoire du conteneur et de la conteneurisation, les différents types de conteneurs, la structure du conteneur ainsi que son impact dans la chaîne logistique et dans la mondialisation.

Chapitre II : Les porte-conteneurs

Ce chapitre décrit l'évolution des porte-conteneurs, l'exploitation à bord, les structures et le développement des ports, avec des informations sur le port de Ghazaouet.

Chapitre III : Processus d'un Terminal Maritime de Conteneurs

Dans ce troisième chapitre, nous décrivons les zones principales de terminal, ainsi que les flux et les systèmes d'informations disponibles.

Chapitre IV : Le problème de stockage de conteneurs

Dans ce quatrième chapitre, nous décrivons le problème de stockage de conteneurs proprement dit, la position du problème, et l'approche méthodologique possible.

Partie B : Approches de Résolution

Cette deuxième partie sera dédiée à l'approche de résolution distribuée que nous proposons pour la solution et l'optimisation du problème de stockage de conteneurs.

Chapitre I : Méthodes et approches adoptées

Ce chapitre présente d'abord, les concepts clés de notre réflexion : le paradigme Multi-agent, le formalisme réseaux de Petri et les méthodes heuristiques, afin de définir quelques notions que nous retrouvons au fil de ce manuscrit et de justifier des choix que nous avons adoptés dans notre proposition.

Chapitre II : Modélisation et résolution du problème de stockage de conteneurs PSC

Ce chapitre présente notre apport et qui est une proposition constituée de deux contributions: D'abord, une première contribution à la gestion à travers les trois niveaux de planification. Ensuite, une deuxième qui la principale contribution relevée par l'attarde sur la méthode heuristique.

Enfin nous concluons notre travail, tant au niveau des apports que des ouvertures envisagées.

Partie A
État de l'art

Chapitre I

**Les conteneurs et la
conteneurisation**

Chapitre I

Les conteneurs et la conteneurisation

1.1 Introduction :

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

La conteneurisation des marchandises a joué un rôle de catalyseur dans le formidable essor du commerce international, induisant notamment une forte réduction des coûts de transport qui ne représentent désormais qu'un faible pourcentage du prix de vente des produits. Pour être encore plus productifs, les ports du monde entier cherchent à accroître l'automatisation des opérations de manutention. [1]

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

1.2 Les conteneurs :

1.2.1 la naissance du conteneur : [2]

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

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

en avril 1966, le *Fairland* de la société Sea-Land (d'une capacité de 228 conteneurs) relie New York à Rotterdam. En utilisant un conditionnement utilisable par différents modes de

transport sans manipulation intermédiaire, Mac Lean a mis en place le principe de la multi modalité, qui s'est ensuite développé grâce à la normalisation des conteneurs, élaborée par le comité technique ISO / TC 104 : quelque soit le pays, les conteneurs manutentionnés sont identiques dans leur conception développée ci-après.

Il a cependant demandé :

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

1.2.2 Description et propriétés du conteneur :

Un conteneur est une caisse métallique rectangulaire qui sert à emmagasiner des éléments qui doivent être transportés d'un endroit à un autre. Grâce à la standardisation, les dimensions des conteneurs sont réglementées par la norme ISO 668 : 1995. L'unité de mesure de conteneur est l'équivalent 20 pieds (EVP), mais ils existent des conteneurs de 40 pieds (2 EVP), etc. [3]

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

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

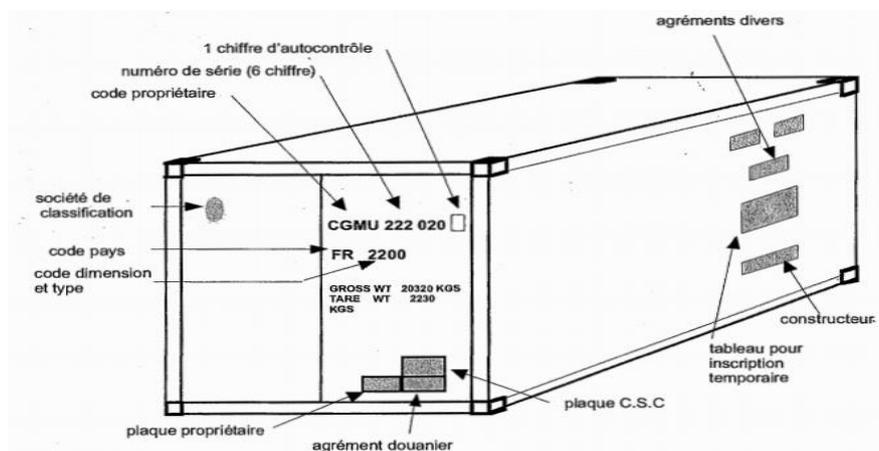


Figure 1 : Le Marquage des Conteneurs

1.2.3 La structure du conteneur : [2]

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

- Le cadre :

Il comprend :

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

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

- L'habillage :

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

- L'accès :

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

1.2.4 Les différents types de conteneurs :

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

• Le conteneur Dry Ventilé :

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

La Figure 2 est une illustration de ce type de conteneurs :



Figure 2 : Container Dry ventilé

• **Le conteneur Super Ventilé :**

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

Ce type de conteneurs est mentionné par la suite, Tableau 1.1 :

Propriétés	20' Ventilé ISO 22G1
Dimensions Intérieures	L : 5910 mm I : 2340 mm H : 2385 mm
Ouverture de Porte	L : 2330 mm H : 2280 mm
Volume	33,0 m ³
Tare	2380 kg
Net Marchandise	28 100 kg
Max. Gross Weight	30 480 kg

Tableau 1.1 – Dimensions d'un conteneur Super Ventilé

- **Container Frigorifique :(REEFER)**

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

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



Figure 3 : Container Frigorifique

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

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

- Container à usage général, avec un toit mobile (bâche) pour faciliter le chargement et déchargement des marchandises volumineuses (Tableau 1.2).

Dimensions	20'	40'
Inside length (m)	5,89	12,01
Inside Width (m)	2,31	2,33
Inside Height (m)	2,33	2,33
Door Width (m)	2,28	2,33
Door Height (m)	2,18	2,26
Capacity (m ³)	32,16	66,54
Tare Weight (T)	2	4
Max Cargo (T)	23	25

Tableau 1.2 – Dimensions d'un conteneur à Toit Ouvert

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

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



Figure 4 : Container Plate-forme à Parois Latérales Ouvertes

- **Container Citerne :**

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

- Container spécifique contenant la citerne et l'ossature.

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



Figure 5 : Container Citerne

1.2.5 Le principe de la standardisation :

L'Organisation Internationale de Normalisation (I.S.O.) a codifié sous les normes ISO 668 et ISO 1496 la construction des conteneurs. Les dimensions extérieures des conteneurs, la largeur, la longueur, la masse maximum sont définies pour rendre le conteneur le plus multimodal possible en offrant le volume maximum. Il faut qu'il puisse passer partout, qu'il puisse être transporté indifféremment par la route, par train ou par bateau. Il doit donc s'intégrer dans les gabarits routiers et ferroviaires. [4]

En définition, un conteneur est une « boîte » rectangulaire de dimension universelle : la clé de son succès réside dans sa standardisation. Les conteneurs «dry» (sec) de 20 et 40 pieds de long (environ 6 et 12 mètres) sont les plus utilisés. Ils servent au transport des marchandises dites sèches, conditionnées en caisses, cartons, palettes. Le conteneur standard de 20 pieds sert d'unité de référence pour estimer les capacités d'un navire et évaluer les flux. On parle alors en EVP équivalent vingt pieds, ce qui correspond à un volume utile de 33m³. Chaque conteneur est identifié par une série d'inscription permanentes sur ses parois : le marquage où figurent le nom du propriétaire, le numéro d'immatriculation, masse brute maximale, tare, charge utile... [2]

• La plate-forme :

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

En reposant au sol uniquement par les quatre coins la plate-forme doit pouvoir supporter 1,8 fois sa charge utile autorisée, 25/28 tonnes, et surtout résister à une charge ponctuelle de 12000 livres sur 44 pouces² (5460 kg sur une surface de 19 cm x 15 cm. Soit approximativement le poids et la surface au sol des roues d'un chariot élévateur)

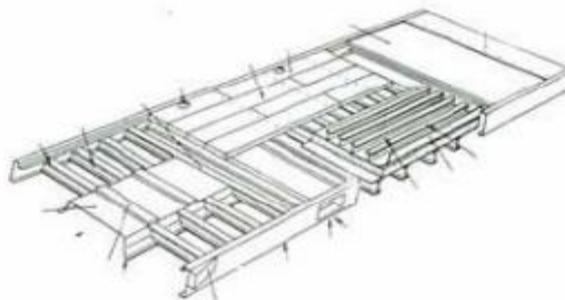


Figure 6 : La plate forme de conteneur

- **L'armature :**

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

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

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

Le toit doit pouvoir supporter une charge de 300 kg sur une surface de 600 x 300 mm (Le poids de deux ou trois dockers) sans subir de déformation permanente.

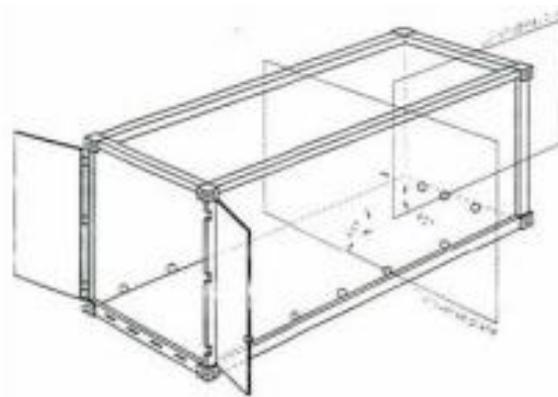


Figure 7 : L'armature de conteneur

- **Les portes :**

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



Figure 8 : la porte du conteneur

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



Figure 9 : conteneur PLEIN et conteneur VIDE

- **Les pièces de coins :**

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

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

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



Figure 10 : les pièces de coins de conteneur

1.3 La conteneurisation :

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

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

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



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

1.3.1 Les avantages de la conteneurisation : [2]

- **La rapidité :**

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

- **L'économie :**

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

- **La souplesse :**

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

- **La sécurité :**

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

- **La stabilité :**

- à quai :

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

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

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

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

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

- En mer :

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

1.4 Conclusion :

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

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

Chapitre II

Les porte-conteneurs

Chapitre II

Les porte-conteneurs

2.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous expliquons ce que c'est un port et les rôles qu'il peut jouer dans la chaîne logistique. L'intégration de ce dernier a été faite de façon progressive. De nos jours, des améliorations et des modernisations sont visibles sur les structures et les modes de fonctionnement des ports. La conteneurisation a été un puissant catalyseur dans ce processus de développement. D'ailleurs, jusqu'à présent, cet outil, qu'est le conteneur, reste impliqué dans les travaux de recherche concernant les développements des ports.

Le reste de ce chapitre est organisé comme suit : dans la section 2.2 sont données des définitions d'un port et des explications sur l'évolution et les types ainsi que la disposition et la construction, la section 2.3 porte sur l'exploitation à bord, les structures et les développements des ports sont exposés dans la section 2.4, une dernière partie pour définir le port de Ghazaouet dans la section 2.5, et une conclusion est donnée dans la section 2.6.

2.2 Généralités :

2.2.1 Définition :

Le porte-conteneurs est un navire de ligne régulière intégré à une chaîne de transport uni modal dont il est le maillon maritime.

Les ports jouent des rôles multiples dans l'industrie maritime et font partie d'un réseau complexe. Ce sont des interfaces reliant la mer et le transport terrestre

2.2.2 L'évolution : [2]

1^{ère} génération (1950) : il s'agit en fait de navires classiques équipés pour recevoir des conteneurs, la capacité est faible : 300 EVP.

2nde génération (1960) : ce sont des porte-conteneurs purs d'une capacité de 1000 à 2000 EVP qui se sont caractérisés par leur vitesse (33 nœuds) et leur consommation.

3^{ème} génération (1980/1990) : la capacité en conteneurs atteint 3000 conteneurs. La vitesse est plus raisonnable (28 nœuds, environ 50 km/h) mais le prix des soutes l'a de nouveau réduite à la baisse et de nombreux navires équipés de turbines à vapeur ont été re-motorisés (23 nœuds).

4^{ème} génération : le gabarit panamax est dépassé; cela permet de construire des navires plus solides avec des capacités atteignant actuellement les 5000 EVP. Des projets allant jusqu'à 6000 voire 8000 conteneurs sont sur le point d'aboutir.

2.2.3 Les différentiels types de porte-conteneur : [2]

Le porte-conteneur cellulaire : il dispose de cellules délimitées par des glissières qui peuvent être fixes ou démontables.

Le porte-conteneur intégral : il ne transporte que des conteneurs.

Le semi porte-conteneur : navire conventionnel disposant d'une ou deux cales cellulaires.

Le porte-conteneur roulier : la partie arrière du navire est réservée à des entreponts rouliers, l'avant à des cales cellulaires.

Le porte-conteneur vraquier : les cales et le pont peuvent recevoir des conteneurs.

Le porte-conteneur panamax : largeur inférieure à 32,30 m.

Le porte-conteneur à ciel ouvert.

2.2.4 Les dispositions générales : [2]

Pour utiliser au maximum le volume du navire, la partie centrale de la coque doit être réservée aux conteneurs. Le compartiment machine est donc situé à l'arrière. Cependant, pour les navires ayant une puissance importante (vibrations), le compartiment machine est situé au ¼ arrière. Le château est en général placé au-dessus du compartiment machine. Il peut être tout à l'avant pour mieux protéger la pontée des paquets de mer, mais cela complique la conduite, la manœuvre et agit sur le confort de l'équipage.

Les cales à conteneurs s'étendent entre la cloison avant machine et la cloison d'abordage. Un nombre important de raidisseurs et une grande capacité de ballastage justifie l'emploi d'une double coque. Les treuils d'amarrage sont nombreux et puissants afin d'éviter tout déplacement du navire pendant les opérations commerciales.

2.2.5 La construction : [2]

Le porte-conteneurs est en fait construit en tenant compte des dimensions du conteneur et de la méthode de manutention et d'arrimage de ce dernier. La poutre maîtresse est constituée d'une double coque dont la largeur intérieure permet l'insertion d'un nombre maximum de conteneurs avec un minimum de jeu entre eux. L'accès par le haut doit être totalement libre en opération commerciale.

➤ **La double coque :**

L'importance des efforts de torsion pendant le chargement et en mer a imposé un certain nombre de raidisseurs. La double coque est construite dans le système longitudinal. Le double fond, fortement compartimenté, est raidi par de nombreuses carlingues qui sont doublées au droit des cornières d'arrimage des conteneurs et par des varangues dont les éléments principaux sont disposés tous les 20'. Au niveau du pont, la double coque est fermée par une étroite bande de tôle à l'échantillonnage particulièrement important (50 mm). Les hiloires de cale prennent la forme de caisson. Une ou deux hiloires renforcent le navire sur toute la longueur des cales au niveau du pont. La coque est divisée dans le sens transversal par des cloisons étanches qui délimitent des cales de 40' ainsi que par des charpentes soutenant les glissières au niveau des 20'. La double coque est utilisée pour les soutes et le ballastage. Ce dernier peut atteindre jusqu'à 20% de la charge utile du navire.

➤ **Les panneaux de cale :**

Les cales sont équipées de glissières verticales délimitant chaque cellule destinée à recevoir une pile de conteneurs. Elles transmettent, en mer, les efforts sur la coque du navire et participent à la raideur de la poutre. Des panneaux de cales type "ponton" d'une grande largeur doivent pouvoir supporter la pontée et être facilement manipulables à l'aide d'un palonnier.

Une fois fermés, les panneaux doivent participer à la raideur à la torsion du navire. Ils doivent avoir un poids de moins de 40 t et être munis de pièces d'ancrage dont les emplacements correspondent aux dimensions du spreader . Ils sont parfois remplacés sur des petites unités par des panneaux type portefeuille ou par des "piggy back" pour les navires équipés de cellules de pont. La charpente avant est particulièrement renforcée compte tenu des efforts subis en mer (vitesse importante).

➤ **Les appareils de manutention :**

La plupart de porte-conteneurs sont dépourvus d'appareil de manutention. Cependant les navires fréquentant des ports sous-équipés en portiques sont dotés de grues simples ou doubles montées sur des fûts leur permettant de dominer la pontée. Ces grues sont parfois décalées en abord. D'autres sont équipés de portiques munis d'un bras articulé.

➤ **Les over-panamax :**

Pour les navires n'empruntant pas le canal de Panama, les problèmes de résistance aux contraintes diverses sont moins aigus puisque la largeur passe de 32,30 à quelques 39 m. Les armateurs ont cependant attendu la fin des années 80 pour sauter le pas. Les dimensions de ces navires sont aujourd'hui limitées par la longueur des postes à quai dans les terminaux

conteneurs (300 m) et par la portée de portiques de manutention dans les ports. Il existe à l'heure actuelle une surcapacité en porte conteneurs mais le trafic en conteneur devrait doubler d'ici 2005.

➤ **La capacité en conteneurs :**

Pour le gabarit panamax, le nombre de conteneurs sur la largeur en cale est de 11 conteneurs (sur 9 hauteurs). Le nombre de conteneur en cale est relativement faible dans les premières cales avant à cause des formes avant très fines et du dévers important. En pontée, les conteneurs sont arrimés sur toute la largeur du pont et on obtient ainsi 13 conteneurs sur 3 à 4 hauteurs. Il suffit de réduire le creux de la cale (une hauteur en moins) pour augmenter la hauteur de la pontée (+2) et ainsi gagner, grâce au gain de poids sur la coque et au plus grand nombre de rangées de conteneurs en pontée, quelques 200 à 300 emplacements supplémentaires.

La réduction de la largeur de la double coque a augmenté la largeur de la cale (l'équivalent d'une rangée de conteneurs). L'utilisation de la surface située au-dessus de la plage arrière permet de gagner quelques dizaines d'EVP. La plupart des installations portuaires limitent le tirant d'eau maximum des portes conteneurs à 11 m.

2.3 L'exploitation à bord : [2]

Le problème majeur est lié à la vitesse des rotations et aux impératifs d'horaire. En mer, les routes choisies sont les plus courtes (orthodromie). Le fait de tenir compte des saisons (hiver en Atlantique nord, cyclone en mer de Chine) et de réduire les équipages ne facilite pas l'entretien du navire. A quai, la brièveté des escales ne laisse pas de place pour l'improvisation.

En quelques heures il faut :

- Effectuer la relève de l'équipage,
- Embarquer les vivres, les soutes,
- Effectuer l'entretien des équipements,
- Surveiller les opérations commerciales,
- Contrôler la stabilité et le ballastage.

2.3.1 Le plan de chargement :

Un planificateur central, relayé par un planificateur local, est chargé d'organiser l'escale du navire et de "planifier" le chargement. La planification précise l'ordre des opérations commerciales en fonction des contraintes liées au navire et de celles liées au stockage sur

le terminal. Dans certaines compagnies, le bord peut contrôler les opérations commerciales grâce à l'informatique et à un système de transmission des données.

Le plan de chargement est constitué par les vues transversales des baies dans lesquelles sont notés les numéros des conteneurs, leurs poids, leurs destinations. Ce plan précise également leurs caractéristiques principales (20'/40', hors-norme/ frigo/ dangereux).

Un premier plan est utilisé pour le déchargement, un second pour le chargement. Les conteneurs à « shifter » (changer) sont également portés sur ces plans. Le plan de chargement, effectué par la terre, est établi selon les mêmes critères que sur les autres navires. Les conteneurs lourds vont en fond de cale et les légers (ou les vides) sur le dernier plan de la pontée.

Les différents poids sont répartis de façon symétrique sur la largeur. Les caractéristiques des conteneurs doivent être prises en compte (20', 40', dangereux, frigo). Le poids maximum par pile est limité. Il faut limiter la pontée en fonction de la visibilité sur l'avant.

Les informations concernant les opérations commerciales sont transmises par télex et/ou par disquettes informatiques. Des mises à jour sont nécessaires en cours d'escale. Le plan de chargement définitif est réalisé à la fin de l'escale pour être transmis à la suivante. L'informatique permet d'avoir une meilleure connaissance du chargement et de calculer plus sérieusement les éléments de stabilité et de prévoir le ballastage en conséquence.

2.3.2 La localisation des conteneurs à bord :

La cale et la pontée sont divisées en :

- BAY (section transversale),
- ROW (rangée),
- TIER (niveau).

Ceci pour localiser de façon précise chaque emplacement (slot) d'un conteneur sur le pont ou dans la cale.

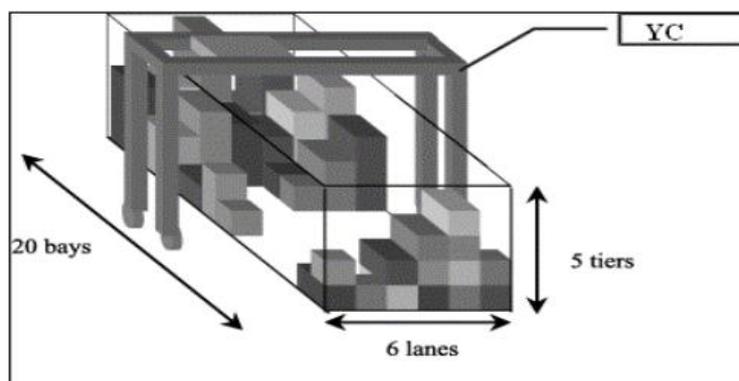


Figure 12 : Les différentes constituantes d'un bloc (BAY, ROW, TIER)

La BAY localise le conteneur dans le sens longitudinal. Les "BAYS" sont numérotées de l'avant vers l'arrière: les numéros impairs (01, 03, 05, etc.) correspondent à des emplacements de 20'. Pour chaque emplacement de 40', qui prend la place de deux 20', on a fait correspondre le chiffre pair "situé" entre les deux chiffres impairs définissant l'emplacement de ces deux 20': 02, 06, 10, n+4, etc. On ne peut pas, au moins en cale, placer un 40 pied dans la BAY 04 ou 08, quand celle-ci correspond à l'emplacement d'une cloison transversale. Le numéro de la cale n'est pas utilisé.

Le ROW localise le conteneur dans le sens transversal. Le ROW 00 correspond aux conteneurs se trouvant dans l'axe du navire. S'il n'y en a pas, la numérotation exclut le ROW 00 et les emplacements sont numérotés à partir de l'axe central de façon pair à bâbord et de façon impair à tribord. En cale, il peut y avoir jusqu'à 9 ROWS, 12 en pontée (pour un panamax).

Le TIER localise le conteneur dans le sens vertical ; le numérotage se fait de bas en haut en utilisant normalement des chiffres pairs. En cale, la numérotation commence à 02 (plan situé immédiatement sur le plafond de ballast). En pontée, la numérotation commence à 82. Tous les conteneurs situés à un même niveau par rapport à la quille ont le même de N° de TIER. Dans le cas de "FLAT" n'utilisant qu'une demi-hauteur, le FLAT inférieur gardera le même numéro que le conteneur classique alors que le FLAT supérieur prendra le numéro impair suivant.

Un conteneur est donc localisé dans le plan d'arrimage du navire par une série de 6 chiffres :

- les deux premiers désignent la BAY,
- les deux suivants, la ROW,
- les deux derniers le TIER.

2.4 Structures et développements des ports : [3]

Les ports doivent adapter leurs infrastructures aux normes des cargaisons afin de satisfaire leurs clientèles. En plus de cela, les autorités portuaires ainsi que les armateurs doivent changer de tactiques en fonction des fluctuations de marchés et des nouvelles opportunités de marchés qui apparaissent. D'ailleurs, comme le dit Branch dans (Eléments of Shipping, London : page 396), les développements des ports sont dirigés par la recherche de marchés. Il faut aussi noter que le niveau d'infrastructure d'un port détermine son champ d'opération, car chaque type de cargaison a ses propres exigences qui englobent aussi bien les besoins sur les

quais (chargement et déchargement) que les nécessités d'emplacements de stockage et de moyens de transport.

L'importance socio-économique des ports a motivé des organismes socio-économiques à investir dans ce domaine. Ces derniers louent des infrastructures et des zones portuaires à des entreprises logistiques. Dans *Eléments of Shipping*, London, Branch décrit un processus de privatisation de ports, dans lequel, des gouvernements externalisent la gestion de certains ports afin de leurs rendre plus attractifs. Les objectifs de ce processus sont : l'augmentation des investissements de capitaux étrangers, l'accroissement de la productivité, et la stimulation du commerce. En effet, la modernisation des ports est un élément clé dans le développement du commerce régional et des centres de distribution. Cependant, malgré ces efforts continuels de modernisation, tous les ports ne sont pas au même niveau de développement. Dans (M. Stopford, *Maritime Economics*, New York), quatre niveaux de développement, qui sont basés sur les niveaux d'infrastructure, sont décrits. Ils sont constitués de :

Niveau 1 : Petits ports locaux.

Niveau 2 : Grands ports locaux.

Niveau 3 : Grands ports régionaux.

Niveau 4 : Centres de distribution régionaux.

Les petits ports locaux (niveau 1) ont chacun un terminal à usage général avec un quai et des grues pour d'éventuelles opérations de stockage. Ces ports reçoivent et expédient de petites quantités de fret pour le transport local (intra-régional dans la plupart des cas). Ils sont essentiellement desservis par des navires maritimes à courtes distances, qui peuvent transporter différents types de cargaisons tels que des conteneurs, des palettes, et des produits emballés. Ces types de port se trouvent principalement dans les pays en développement et dans les zones rurales des pays développés

Les grands ports locaux (niveau 2) sont plus développés que les petits ports locaux. Ils peuvent accueillir une grande variété de marchandises, et possèdent des terminaux à usage général. Leurs infrastructures sont plus personnalisées pour de grandes exploitations. Ces ports ont souvent des terminaux qui peuvent accepter et amarrer de grands vraquiers (navires destinés au transport de marchandises solides en vrac).

Les grands ports régionaux (niveau 3) ont la possibilité de gérer de très grandes cargaisons qui ne peuvent pas être prises en charge par des ports de niveau 1 ou 2. Ils ont des équipements spécialisés qui leurs permettent d'effectuer des opérations plus importantes que celles qui peuvent être faites dans des grands ports locaux (niveau 2). En plus de cela, ils ont généralement de grandes capacités de stockage, plusieurs terminaux, plus de matériels de manutention, et sont souvent connectés à de vastes réseaux de transport (routes pour camion, chemins de fer, etc.)

Les centres de distribution régionaux (niveau 4), servent de plate-forme dans leurs régions et permettent la distribution de cargaisons aux niveaux intra-régional et interrégional. Ces ports opèrent dans des marchés spécifiques (exemple le marché européen). Ils reçoivent des marchandises en provenance d'autres horizons, ensuite, ils les redistribuent vers diverses destinations par différents modes de transport (maritime, fluvial, routier, ferroviaire, ou bien par des tuyaux).

L'intégration des ports dans la chaîne logistique globale s'est faite de façon progressive, ces derniers affirment que l'effet de la mondialisation a forcé les ports à s'adapter afin de maintenir leurs avantages de compétitivité. Ainsi, en s'intégrant dans la chaîne logistique, ils fonctionnent pour maintenir leurs compétitivités, tandis que l'objectif global de cette dernière est d'améliorer la productivité.

Après ces observations, on peut affirmer que le rôle des ports s'est amélioré au fil du temps, et qu'ils occupent aujourd'hui une place capitale dans le commerce international.

Le Tableau 2.1 est un classement des dix ports les plus grands du monde suivant les flux de conteneurs :

Rang	Port	Pays	Volume (mille EVP)
1	Singapour	Singapour	25.87
2	Shanghai	Chine	25.00
3	Hong Kong	Chine	21.04
4	Shenzhen	Chine	18.25
5	Busan	Corée du Sud	11.98
6	Guangzhou	Chine	11.19
7	Dubaï	Emirates arabe	11.12
8	Ningbo-Zhoushan	Chine	10.50
9	Quindao	Chine	10.26
10	Rotterdam	Pays-Bas	9.74

Tableau 2.1– Les 10 premiers ports conteneurisés du monde en 2009

2.5 Entreprise Portuaire de Ghazaouet : [5]

2.5.1 Présentation et Activités :

Est une Entreprise Publique, autonome à caractère économique (EPE), Société par Action S.P.A, au Capital Social de 1 100 000 000 DA, divisé sur 44 000 actions de 25 000 DA pour chaque action. Elle est administrée par un Conseil d'Administration. Les administrateurs sont désignés par l'assemblée constitutive ou par l'assemblée générale ordinaire. La durée de leur mandat est déterminée par les statuts sans pouvoir excéder six (06) ans.

L'Entreprise Portuaire est chargée, conformément au décret n°82-290 du 14 août 1982, de participer à la promotion des échanges extérieurs du pays, notamment en favorisant le transit des personnes, des marchandises et des biens dans les meilleures conditions d'économie, de la gestion, de l'exploitation et du développement en ce qui la concerne des ports dont elle a la charge.

A ce titre :

- L'exploitation des terre-pleins, de l'outillage et des installations portuaires,
- L'exécution des travaux d'entretien, d'aménagement et de renouvellement de la super structure portuaire,
- L'élaboration, en liaison avec les autorités concernées, des programmes de travaux d'entretien, d'aménagement et de création d'infrastructures portuaires,
- L'exercice des opérations d'acconage et de manutention portuaire,
- L'exercice des opérations de remorquage, pilotage et lamanage,
- Et dans le but d'accroître les capacités d'accueil et d'accélérer les opérations, de la police et de la sécurité portuaire dans les limites géographiques portuaire.

✓ Objet et implantation de l'entreprise :

L'entreprise portuaire de Ghazaouet, créée par décret N° 82-290 du 14/08/1982, est entrée effectivement en fonctionnement le 02/11/1982.

L'entreprise Portuaire de Ghazaouet a à sa charge :

- Le port de commerce de Ghazaouet.
- Le port de pêche de Beni-Saf, l'abri de pêche Honaine et le port de pêche de plaisance de Marsa Ben M'hidi (en cours de réalisation), quant à eux, sont à la charge de la nouvelle filiale de l'entreprise : E.G.P.P.G depuis le 1er juillet 2004.

✓ Le siège social :

En 1992, sous l'impulsion de l'entreprise Portuaire, naît un projet ambitieux : réunir sous un même toit toutes les activités afférentes au fonctionnement du port de Ghazaouet. Ainsi, le siège social de l'E.P.G regroupe à la fois l'autorité portuaire, les transitaires, les consignataires, les experts maritimes et les assurances afin d'apporter à l'opérateur un gain de temps considérable, dans ce qui est devenu " le bâtiment d'exploitation du port ".

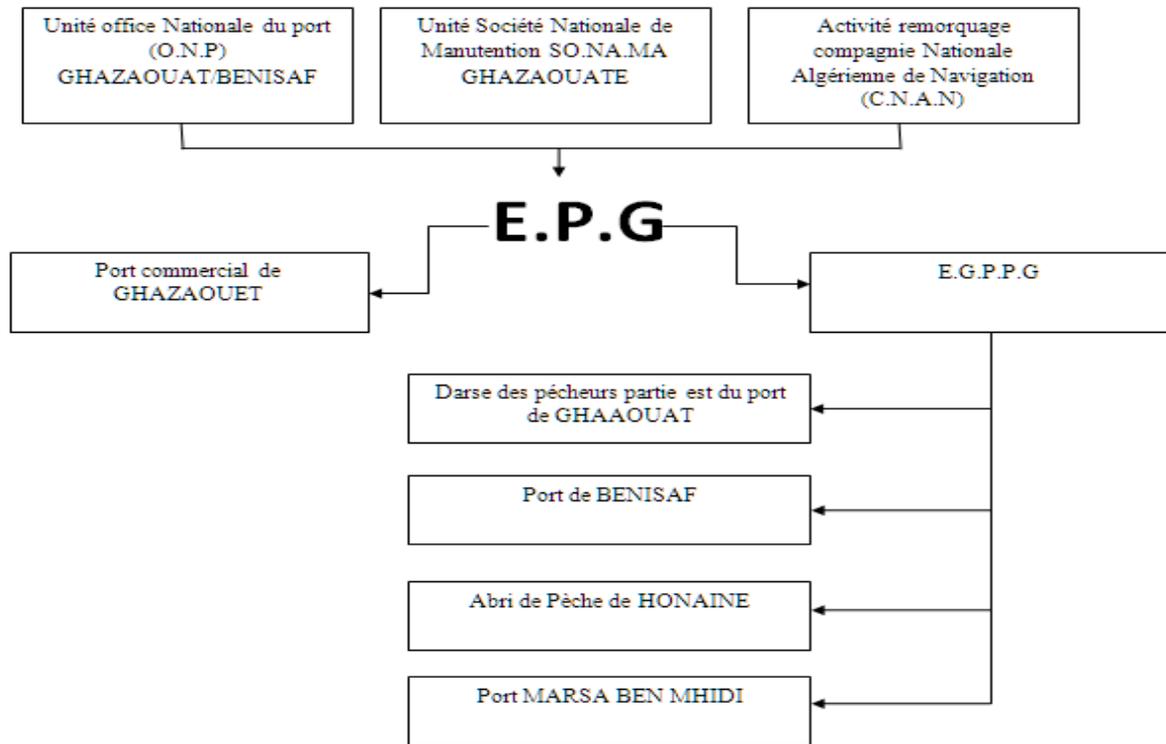


Figure 13 : Schéma de l'E.P.G avant et maintenant

2.5.2 Situation géographique :

- Le Port mixte de commerce de Ghazaouet est situé à une trentaine de kilomètres à vol d'oiseau à l'Est de la frontière algéro-marocaine, à **45 kilomètres** de l'aéroport international MESSALI El-Hadj de Tlemcen. Et à une centaine de miles nautiques d'Almeria;



Figure 14 : Situation Géographique du port de Ghazaouet

2.5.3 Infrastructures et superstructures du port de Ghazaouet :

Les Surfaces du port :

Le port de Ghazaouet s'étend sur 23 hectares de terre-pleins et 25 hectares de plans d'eau, il dispose :

- ❖ D'une gare maritime :
 - Hall de transit auto-passager : 1 960 M² ;
 - Hall de transits passagers : 1 080 M².
- ❖ D'un hangar modulaire de 960 M² pour le transit des marchandises diverses ;
- ❖ De deux (02) magasins d'une surface totale de 6 000 M² sur la première zone d'activité ;
- ❖ De deux ponts bascules d'une capacité de 60 et 100 Tonnes.
- ❖ Zone extra-portuaire :

Le port dispose de deux (02) hangars de 3000 m² chacun, situés dans la zone d'activité de la ville de Ghazaouet.

- La première zone d'activité s'étale sur une surface de 40 ha et elle est distante de 2.5 Km au Sud-Est du port.
- La deuxième zone d'activité située à l'ouest de la ville (commune de Souahlia) s'étale sur une surface de 3.8 ha et distante de 10 Km du port.

Le port de Ghazaouet comprend cinq (05) môles et dix (10) quais, répartis de la manière suivante:

Môles	Quais	Postes	Longueur quai (m)	Longueur navire admissible (m)	Tirant d'eau (m)	
					Théorique	Pratique
Alger	01	1-2-3	300	150	7.5	7
Batna	02	4 - 5	150	140	7.5	7
	03	06	90	70	7.5	7.2
Constantine	04	07	91	/	/	
	05	08	108	108	7.8	7.2
	06	09	125	125	7.8	7.5
	07	10	103	100	7.8	7.5
Djanet	08	11, 12,13	300	180	8	7.5
Tlemcen	09	14	120	105	11	7
	10	15, 16,17	289	285	11	10
	/	/	/	/	/	

Tableau 2.2– Quais et destinations

La figure suivante représente les différentes directions de l'EPG :

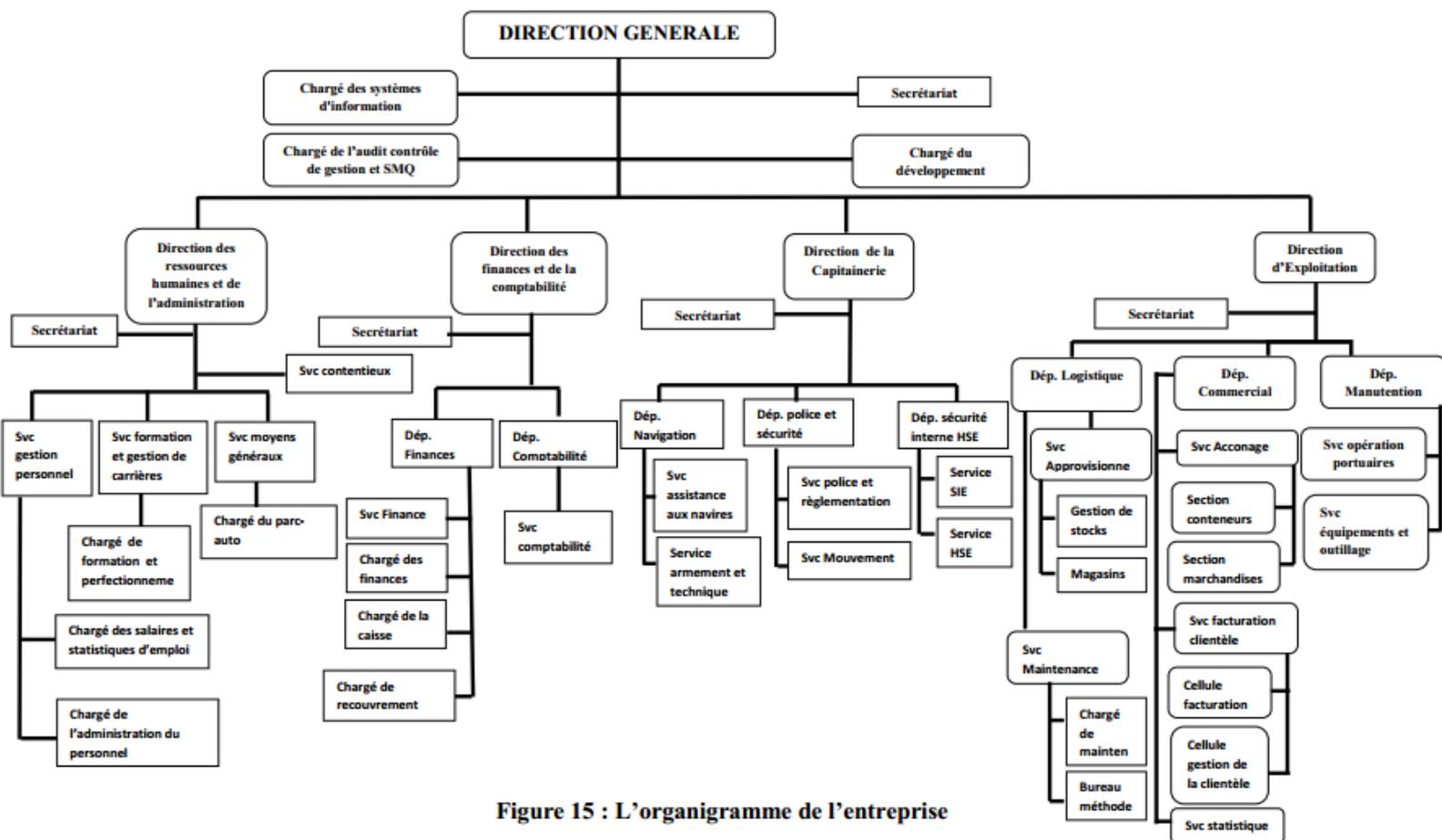


Figure 15 : L'organigramme de l'entreprise

2.6 Conclusion :

De nos jours, les ports occupent une place importante dans la chaîne logistique. La plupart d'entre eux sont devenus des centres de distribution entre plusieurs moyens de transport, c'est leur aspect multimodal.

Bien évidemment, toutes les opérations réalisées dans un terminal à conteneurs doivent être faites de façon efficace, car elles ont des influences sur la productivité générale du port. Cependant, une méthode de gestion optimale de la cour de stockage est difficile à mettre au point à cause de la diversité des données concernant les conteneurs et aussi à des déficits d'informations. Ceci a été à l'origine de nombreux travaux de recherche qui font l'objet du chapitre suivant.

Chapitre III

Processus d'un Terminal

Maritime de Conteneurs

Chapitre III

Processus d'un Terminal Maritime de Conteneurs

3.1 introduction :

Ce chapitre présente les principaux processus d'un terminal de conteneurs. Les processus sont regroupés selon les différentes zones d'opérations du terminal qui ont été préalablement présentées, et une dernière partie pour la description du Môle de Djanet.

3.2 Les différents terminaux dans les ports commerciaux : [6]

3.2.1 Terminal :

Un terminal est l'ensemble des équipements portuaires permettant la manutention d'un type de marchandise déterminé. Des terminaux ferroviaires peuvent y être associés afin de transporter la marchandise hors du port.

a) Terminal conteneur :

Les dimensions des postes et terre-pleins à l'arrière augmentent au fil des années en raison de l'augmentation de la taille des navires.

Un terminal à conteneurs est un endroit où les conteneurs arrivant sur des navires sont déchargés par des grues à quai et transférés aux zones de stockage par des véhicules de levage dits cavaliers. [13]

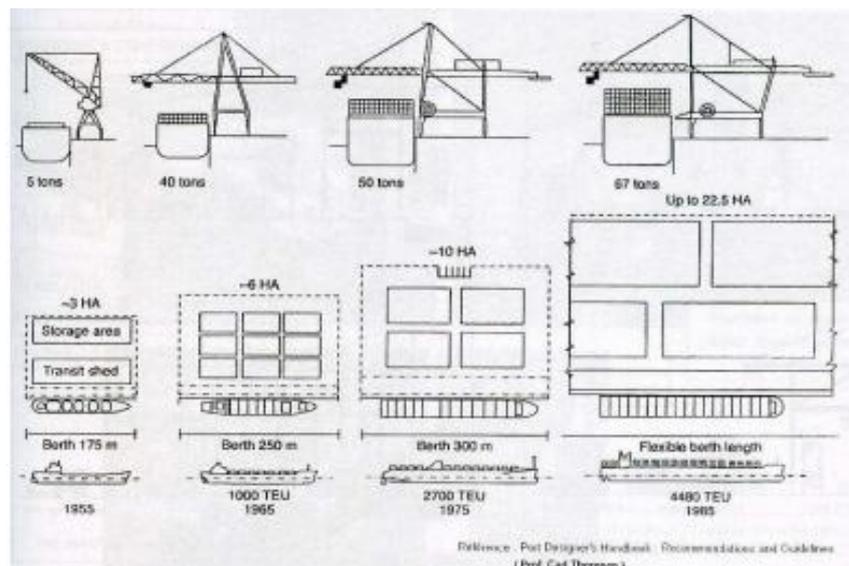


Figure 16: Moyens de manutention à quai

b) Terminal Vrac-solide :

Les quais sont, autant que possible, rectilignes avec de grandes surfaces à l'arrière pour le stockage : à ciel ouvert lorsque les conditions environnementales le permettent ou en silos pour les céréales.

Les engins peuvent être des grues, des élévateurs mécaniques continus et pneumatiques



Figure 17 : Terminal vrac-solide

c) Terminal Vrac-liquide :

L'accostage et l'amarrage se font souvent sur des ducs d'Albe sur pieux. Les bras de chargement sont sur une plateforme centrale (très sécurisés pour le gaz). Des distances de sécurité importantes sont prévues avec les autres installations portuaires.



Figure 18 : Terminal vrac-liquide

d) Terminal roulier ou ferries :

Les quais sont continus et présentent des passerelles à l'arrière (ajustables en cas de forte excursion de marée), vers de grandes surfaces disponibles à l'arrière du quai (parkings), d'où partent les liaisons vers les voies terrestres (route, fer).



Figure 19 : Terminal roulier

e) Terminal passagers :

Il ne nécessite qu'une surface restreinte mais bien desservie par les réseaux routier et ferré pour le passage des véhicules transportant les passagers.



Figure 20 : Terminal passagers

3.3 Les équipements d'un terminal maritime de conteneurs :

Les opérations des terminaux de conteneurs peuvent être divisées en trois grandes catégories. La première catégorie regroupe les opérations liées au chargement et au déchargement des navires et barges. Ces opérations sont réalisées dans la zone d'opérations portuaires. La seconde catégorie contient l'ensemble des opérations de stockage et de manutention des conteneurs dans la cour et les opérations sont effectuées dans la zone de stockage du terminal. La dernière catégorie d'opérations concerne le transfert des conteneurs vers les modes de transport terrestres. Les opérations de cette catégorie se déroulent dans la zone d'opérations terrestre. **La figure 21** représente la disposition d'un terminal maritime spécialisé dans la manutention de conteneurs. Cette disposition représente un terminal qui utilise des ponts roulants et des camions qui tirent des remorques pour le transport interne des conteneurs. Dans un terminal qui utilise des chariots cavaliers, les conteneurs seraient disposés en rangées plutôt qu'en blocs. [9]

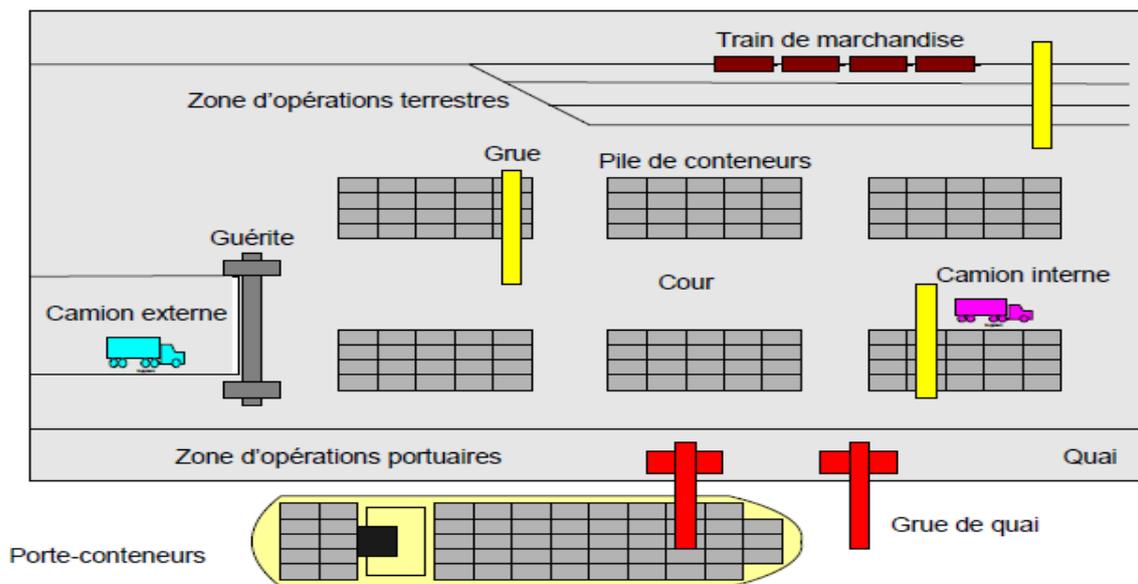


Figure 21 : Disposition d'un terminal maritime

3.4 Les différentes zones d'un terminal à conteneurs :

3.4.1 Zone d'opérations portuaire : [9]

Cette zone comprend l'équipement utilisé pour effectuer les opérations de chargement, déchargement des navires ainsi que les opérations de transport entre le quai et la cour du terminal. Le rôle de cette zone est de servir de point de transfert des conteneurs entre le terminal et les navires.

Le premier type d'équipement utilisé dans cette zone est la grue de quai (figure 21) qui est utilisée pour le transfert des conteneurs entre les navires et le quai. Cette grue est composée d'une structure d'acier montée sur rails lui permettant de se déplacer le long du quai et d'un pont roulant qui se déplace de l'avant à l'arrière le long d'un mât, ce qui lui permet de soulever les conteneurs du navire pour les poser sur les véhicules de transport interne du terminal.

Bien qu'il existe des grues de quai de diverses grosseurs et de diverses capacités, deux types de grues sont généralement répertoriés : les grues à pont roulant simple et les grues à pont roulant double. La (figure 22) présente une grue de quai à pont roulant simple. Pour ce type de grue, l'ensemble des manutentions est réalisé par l'unique pont roulant. Ce dernier soulève le conteneur du navire et le dépose sur le véhicule de transport interne. Le second type de grue de quai possède l'avantage de réduire le cycle du pont roulant affecté au déchargement du navire. En effet, une plateforme bâtie dans l'empattement de la grue sert de tampon entre le navire et les véhicules de transport. La grue n'a pas à descendre jusqu'au sol ce qui diminue la distance de déplacement verticale du chariot de la grue. De plus, la zone tampon permet d'accumuler quelques conteneurs s'il n'y a pas de véhicule disponible au moment où le conteneur est déchargé du navire. À l'inverse, lors du chargement du navire, la zone tampon permet d'accumuler quelques conteneurs et diminue le risque d'arrêt des équipements.



Figure 22: Grue de quai

Une fois que les conteneurs sont déchargés, il existe deux cheminements possibles pour ceux-ci. La première possibilité, la plus répandue, consiste à déposer le conteneur sur un véhicule de transport interne du terminal, qui transportera le conteneur jusqu'à la position de stockage qui lui a été assignée. Le conteneur demeurera stocké ainsi, jusqu'à ce qu'il soit sur un autre mode de transport pour être livré au client final de la chaîne de transport. La seconde possibilité consiste à effectuer un transfert direct vers un autre mode de transport en chargeant le conteneur sur un train ou un camion à la base de la grue de quai.

L'objectif de cette forme d'organisation des opérations est de diminuer l'espace d'entreposage nécessaire et d'accélérer la livraison du conteneur au client. Bien qu'il ait été populaire à une certaine époque, ce concept est aujourd'hui très peu répandu puisque la coordination des trains et des camions avec les opérations de chargement et déchargement des navires s'avère très complexe. Tel que mentionné auparavant, dans les cas où un système d'opérations avec transferts indirects est utilisé, des véhicules sont nécessaires pour le transport des conteneurs à l'intérieur du terminal. Pour ces transports internes ils ya deux catégories de véhicules : les véhicules passifs et les véhicules actifs. Dans le premier cas, les véhicules n'ont qu'une fonction de transport et ils ne possèdent pas la capacité de soulever les conteneurs, ce que le second type de véhicule est en mesure de faire. Il existe principalement deux types de véhicules passifs : les véhicules automatisés et les véhicules non automatisés. Les véhicules automatisés consistent en une plateforme de transport guidée électroniquement capable de porter l'équivalent de deux EVP à la fois (**figure 23**). La mise en place d'un système de transport automatisé implique des investissements importants, ce qui explique le nombre restreint de terminaux qui les utilisent.



Figure 23 : Véhicule guidé automatiquement

L'alternative consiste à utiliser un système de remorques tirées par des camions opérés par des employés du terminal. Les remorques ont la capacité de transporter deux EVP ou un conteneur aux dimensions excédentaires à la norme ISO de quarante pieds, comme les quarante-cinq pieds, qui sont de plus en plus utilisés. Afin d'augmenter la productivité de chaque déplacement de camion, certains terminaux ont mis en place des systèmes à remorques multiples. C'est notamment le cas du Port de Rotterdam (Hollande), qui utilise ce système pour les transports inter terminaux. Ces trains de remorques permettent le transport de dix EVP à la fois.

D'autres systèmes passifs de transport des conteneurs ont été imaginés, mais ils ne sont que peu ou pas développés. Parmi ceux-ci, les systèmes de convoyeurs à moteurs linéaires offrent des perspectives intéressantes. Le seul prototype existant d'un tel système est celui du terminal Eurokai du Port de Hambourg en Allemagne (**figure 24**). Le principe de ce système consiste à bâtir une infrastructure de rails sur lesquels circulent les plateformes de transport des conteneurs. La principale différence avec les véhicules guidés automatiquement est que les plateformes peuvent effectuer des virages à angle droit. Donc, les plateformes nécessitent moins d'espace que les véhicules guidés automatiquement pour effectuer un virage. Le principal avantage de ce type d'organisation, par rapport à un système de transport automatisé conventionnel, se situe au niveau des coûts d'entretien, puisque les coûts de l'investissement initial et les coûts d'opérations sont comparables.

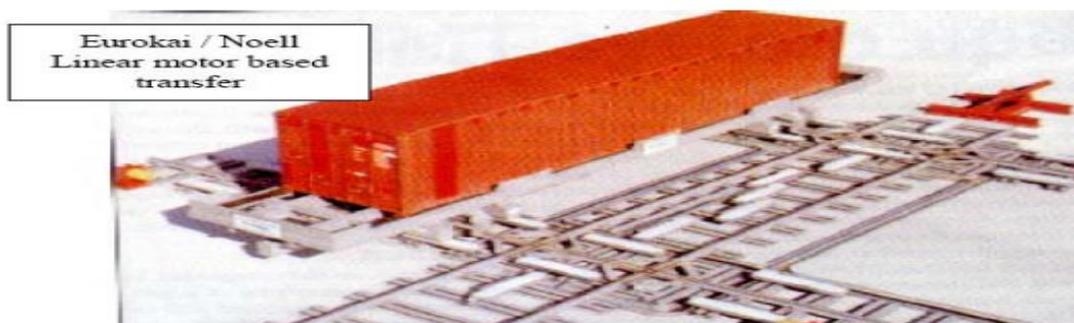


Figure 24 : Système de convoyeur à moteur linéaire

La seconde classe de véhicules de transport interne se différencie de la première par son autonomie d'opération pour le déplacement des conteneurs. En effet, les chariots cavaliers (**figure 25**) n'ont pas besoin de l'intervention d'une tierce machinerie pour soulever le conteneur, puisqu' ' ils possèdent un treuil dans leur empattement leur permettant de le lever. Comme dans la forme précédente d'organisation du transport interne, il existe des chariots cavaliers automatisés et non automatisés.

Cette forme de terminal automatisé est moins répandue, le seul système de la sorte répertorié en 2004 était celui de Patrick Terminal/Brisbane, en Australie. L'utilisation de chariots cavaliers, qu'ils soient automatisés ou non, entraîne d'importantes modifications à la configuration de la cour d'un terminal, comme il sera présenté à la section suivante.



Figure 25 : Chariot cavalier

3.4.2 Zone de stockage du terminal : [10]

Dans les terminaux à conteneurs, les espaces de stockage sont constitués de plusieurs blocs. Cependant, les configurations des blocs diffèrent en fonction des équipements de stockage utilisés. On distingue principalement deux types de configuration : le modèle compact que l'on retrouve dans les terminaux à conteneurs qui utilisent des grues de cour, et le modèle linéaire que l'on rencontre dans les terminaux à conteneurs qui se servent de cavaliers gerbeurs.

Dans le modèle compact, il n'y a pas d'espaces de séparation prévus entre les piles adjacentes. Un bloc de ce genre est donc constitué de plusieurs rangées qui sont collées les unes aux autres. Chaque rangée est composée de plusieurs travées, qui contiennent à leurs tours des piles dans lesquelles sont superposés des conteneurs.

La disposition de ces blocs par rapport aux quais dépend de la nature des grues de cour utilisées. Dans le cas des terminaux à conteneurs qui ont opté pour des grues non automatisées (RTGCs), les blocs sont disposés parallèlement aux quais. Dans ces blocs, une ou plusieurs rangées, appelée(s) voie(s) de camion, est (sont) réservée(s) à la circulation des véhicules de transfert. De ce fait, ces véhicules circulent dans ces espaces et s'arrêtent devant les travées souhaitées. Ainsi, les grues se déplacent jusqu'à leurs positions pour effectuer des chargements ou des déchargements. La **figure 26** en est une illustration. On retrouve ce genre de disposition dans la plupart des ports asiatiques.

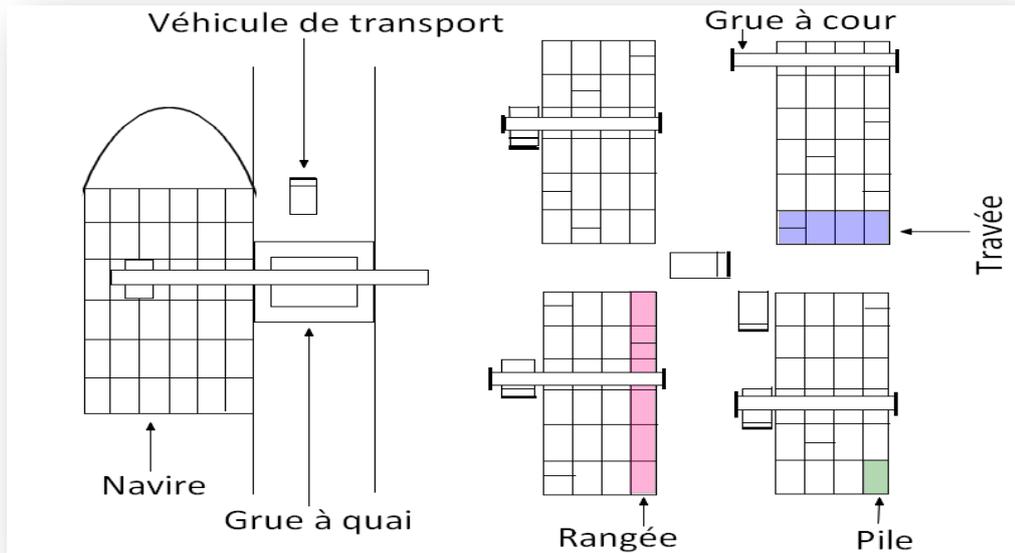


Figure 26 : Terminal qui utilise des RTGCs

Dans le cas des terminaux à conteneurs qui utilisent des grues de quais automatisées (RMGCs), les blocs de stockage sont perpendiculaires aux quais. Les échanges entre les véhicules de transfert et les RMGCs se font dans deux zones d'échange spécifiques, situées de part et d'autre de la cour de stockage. Celle qui est en face des quais est le lieu d'interaction entre les véhicules autoguidés (AGV) et les RMGCs. Tandis que les échanges entre les camions externes et les RMGCs se font à l'autre côté. Une représentation d'un tel terminal à conteneurs est visible dans la **figure 27**.

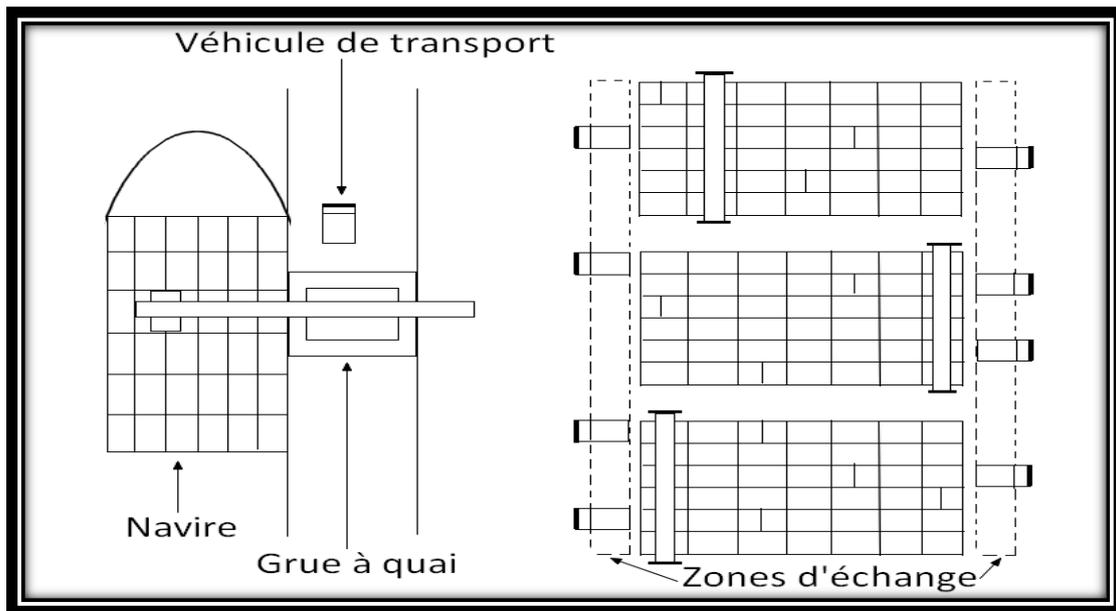


Figure 27 : Terminal qui utilise des RMGCs

Dans le cas du modèle linéaire, les blocs de stockage sont constitués par des rangées qui ne sont pas collées les unes aux autres. Il y a de petits espaces entre elles, par où circulent les roues des cavaliers gerbeurs. Chaque rangée est composée de plusieurs piles. La **figure 28** en est une illustration, dans laquelle les rangées sont parallèles aux quais ; mais le cas orthogonal est également possible.

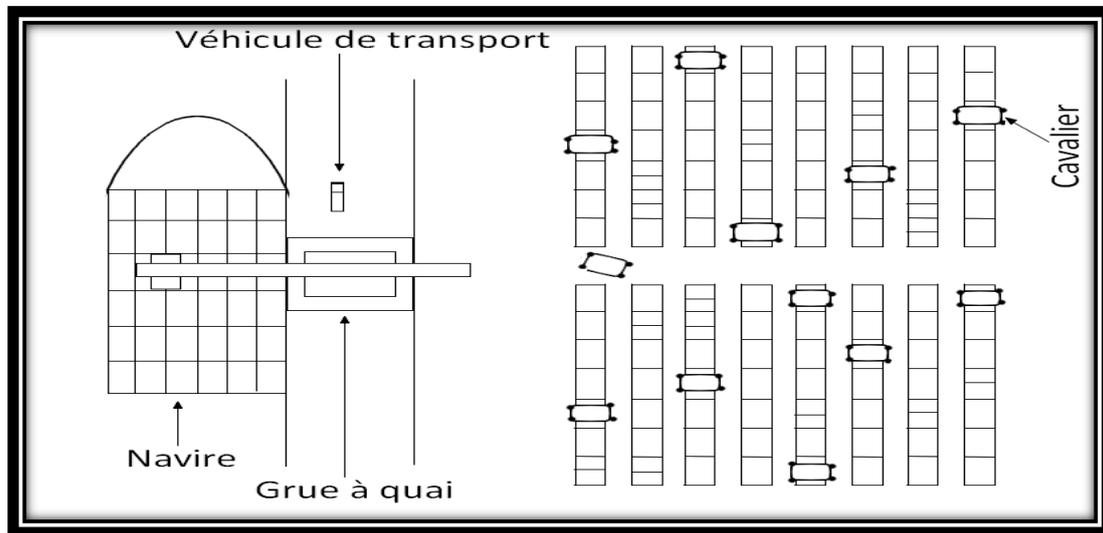


Figure 28 : Terminal qui utilise Cavaliers gerbeurs

Afin d'effectuer les manutentions au sein de cette zone, plusieurs équipements peuvent être utilisés. Parmi ceux-ci, on retrouve les chariots cavaliers qui sont aussi utilisés pour le transport entre le quai et la zone de stockage. Une autre option est l'utilisation de ponts roulants sur pneumatiques (**figure 29**).

Celui-ci ressemble à un chariot cavalier, mais possède un empattement beaucoup plus large qui lui permet de circuler au-dessus de blocs de conteneurs, comparativement au chariot cavalier qui peut seulement circuler au-dessus de rangées de conteneurs. Par contre, ce type d'équipement ne peut pas être utilisé pour le transport de conteneurs puisque son large empattement réduit considérablement sa mobilité. [11]



Figure 29 : Pont roulant sur pneumatiques

Une variante à ce type de grue est le pont roulant sur rails (**figure 30**), qui est identique au premier type à l'exception qu'il circule sur des rails plutôt que des pneus. Bien que ce système soit moins flexible que le premier, il permet d'augmenter considérablement la hauteur et la largeur des piles et il est présentement possible d'automatiser son fonctionnement.



Figure 30 : Pont roulant sur rails

3.4.3 Zone d'opérations terrestres : [11]

La zone d'opérations terrestres est la zone où sont effectuées toutes les opérations de réception et d'expédition des conteneurs provenant de trains, et de camions. Le rôle de cette zone est de servir d'interface entre le terminal et les moyens de transport précédemment mentionnés. De plus, ce rôle d'interface implique que c'est cette zone qui est responsable de la gestion des entrées et sorties des trains et des camions.

Les équipements utilisés pour la manutention des conteneurs dans cette zone dépendent du système de transfert qui a été choisi dans la zone de stockage du terminal. En effet, les terminaux maritimes de conteneurs utilisent généralement le même type d'équipement dans les deux zones. Cette concordance des systèmes de transfert a pour but de maximiser l'utilisation des équipements. Pour ce qui est de la gestion des entrées et sorties des camions, elle se fait via la guérite du terminal. Celle-ci consiste en une zone assortie de plusieurs voies d'accès au terminal (**figure 31**).



Figure 31 : Guérite d'un terminal de conteneurs

En ce qui concerne les opérations sur les camions, la première étape est de gérer l'entrée et la sortie de ceux-ci du terminal. La formule classique pour la gestion de ces opérations consiste à avoir des employés postés aux différentes voies d'accès de la guérite qui valident la concordance de la documentation avec le conteneur chargé sur le camion. Récemment, des systèmes d'automatisation des opérations de la guérite ont été développés. Ces systèmes reposent sur l'utilisation de caméras numériques et de logiciels de reconnaissance optique des caractères. Un portail situé dans la file d'attente de la guérite prend une série de photos du conteneur et du camion sous différents angles. Le logiciel de reconnaissance optique des caractères utilise les photos pour déterminer le numéro du conteneur et de l'immatriculation du camion. Ces informations sont acheminées à une base de données qui envoie une autorisation d'accès au terminal si les informations concordent. Le processus est le même à la sortie du terminal, à l'exception que le portail se trouve à l'intérieur du terminal.

Outre le contrôle des entrées et sorties de camions du terminal, la zone d'opérations terrestre est aussi le lieu du terminal où se déroulent les opérations sur ces camions. Selon le type d'organisation de la cour et le type d'équipement de transport interne qui a été choisi, ces opérations seront différentes pour les conteneurs reçus/expédiés par camions. En effet, si la cour est organisée en blocs de conteneurs, le camion est chargé/déchargé près de la pile où le conteneur est entreposé. Par contre, dans le cas où le terminal utiliserait des chariots cavaliers, une zone de manutention doit être aménagée. Dans celle-ci, les camions sont déchargés par les chariots cavaliers qui transportent ensuite le conteneur jusqu'à son emplacement d'entreposage. Dans le cas d'un chargement, la séquence d'opérations est inversée.

La zone d'opérations terrestres est aussi le lieu où sont parfois réalisées les opérations de déchargement et de chargement des barges. En effet, bien que les barges constituent un moyen de transport pour la distribution régionale des produits, au point de vue opérationnel, le chargement et le déchargement de celles-ci se font de la même façon que les transbordements sur les navires océaniques. Donc, dans certains terminaux, les opérations sur les barges sont réalisées dans la zone d'opérations portuaires. Par contre, dans d'autres cas, une section du terminal est aménagée pour les opérations sur les barges dans la zone d'opérations terrestres. Une telle section est semblable à la zone d'opérations portuaires, mais les grues de quais utilisées sont plus petites, afin de diminuer les coûts d'exploitation.

La zone d'opérations terrestres peut constituer un terminal spécialisé à l'intérieur du port, mais externe au terminal maritime. Cette forme d'organisation permet de spécialiser une section du port dans la manutention d'un certain type de mode de transport, mais occasionne des transports entre les terminaux.

3.5 Flux d'informations et systèmes de communication avec gestion des terminaux :

Les activités des terminaux de conteneurs, se déroulant dans les zones d'opérations présentées précédemment, sont supportées par de nombreux flux d'informations. Ces flux peuvent être regroupés en trois catégories : les flux en amont du terminal, les flux internes du terminal et les flux en aval du terminal. Afin de gérer ces informations, les terminaux de conteneurs utilisent des systèmes d'information. L'objectif de cette section n'est pas de présenter le détail des flux d'informations, mais une vision générale.

3.5.1 Les flux en amont du terminal :

Les flux en amont du terminal regroupent un ensemble d'informations nécessaires à la coordination des opérations. Ils incluent notamment les plans de chargement des navires, barges et trains à destination du terminal, les diverses informations sur les conteneurs (destination, caractéristiques, etc.) et les informations provenant des autorités douanières. Ces échanges se font avec plusieurs intervenants qui comprennent les lignes maritimes, les agents maritimes, les transitaires, les compagnies de transport routier et ferroviaire, les agences douanières et plusieurs autres. Ces communications se font de plusieurs façons, notamment par échange de données informatisées, par fax et par téléphone.

3.5.2 Les flux internes du terminal :

Une multitude d'informations circulent à l'intérieur du terminal. Ces informations sont nécessaires à la gestion des opérations du terminal. Elles concernent donc la position et les mouvements des conteneurs, les tâches à exécuter et l'affectation des équipements du terminal à ces tâches. Ces informations sont transmises par communications orales par radios, par échanges de données via radios fréquences et par communications directes.

Récemment, avec le développement de terminaux automatisés, la quantité d'informations qui circulent a grandement augmentée. En effet, l'automatisation des opérations nécessite de nombreuses communications entre les équipements et le système de contrôle de ceux-ci. Bien entendu, ces communications sont automatisées et transigent via des systèmes de communications électroniques.

3.5.3 Les flux en aval du terminal :

Les flux en aval du terminal comprennent un ensemble d'informations nécessaires à la suite des opérations de transport des conteneurs dans le réseau de transport intermodal. Ces informations sont les plans de chargement des navires, trains et barges qui quittent le terminal, et les rapports de livraison des conteneurs. Ces échanges se font avec les mêmes intervenants et avec les mêmes technologies que les échanges en amont du terminal.

3.5.4 Les systèmes de communication et de gestion des terminaux :

Les systèmes de communication et de gestion des terminaux sont un ensemble de technologies qui supportent les processus physiques d'un terminal. Leur principale fonction est de véhiculer l'information nécessaire au déroulement des activités du terminal.

Le système au cœur du processus de gestion du terminal est le système d'opération du terminal. En effet, c'est ce système qui gère les informations sur les conteneurs et sur les opérations du terminal. Ces informations incluent le positionnement des conteneurs sur le terminal, la destination des conteneurs, le mode de transport utilisé pour atteindre cette destination, les caractéristiques du conteneur et du matériel qu'il contient (matière dangereuse et classe de celle-ci) et les plans de chargement des navires, trains et barges qui fréquentent le terminal.

Ces informations proviennent de sources multiples.

Les informations sur les opérations du terminal peuvent provenir de transmetteurs de données radios utilisés par les employés du terminal.

Un transmetteur de données radios est un terminal informatique manuel qui communique avec le système d'opérations du terminal, ce qui permet une mise à jour des informations en temps réel. L'alternative aux transmetteurs de données radios est la prise d'information manuelle par les employés du terminal. Le désavantage de cette méthode est qu'elle demande une entrée de données manuelle, ce qui augmente le risque d'erreurs et ne permet pas une information en temps réelle. Pour ce qui est des informations qui ne proviennent pas des opérations du terminal, elles proviennent des intervenants en amont et en aval du terminal. Une grande part de ces informations est acheminée au système d'opération du terminal par échange de données informatisée.

3.6 Môle de Djanet au niveau du port de Ghazaouet :

Le môle de Djanet, le môle le plus important de l'E.P.G est dédié au trafic des conteneurs.



Figure 32 : Configuration du port de Ghazaouet

3.6.1 Equipements de manutention :

Au-delà de la maîtrise managériale et technique, le port de Ghazaouet n'a pas lésiné sur les moyens pour se doter d'équipements performants, répondant aux exigences de l'activité portuaire et permettant des opérations de chargement et de déchargements rapides. En effet, l'entreprise portuaire de Ghazaouet dispose d'un parc naval composé d'un remorqueur, de deux canons d'amarrage et de deux vedettes de pilotage, destinés au remorquage et à la servitude des navires. En ce qui concerne les équipements de manutention, l'entreprise vient d'acquérir deux grues pour le traitement des conteneurs qui viennent s'ajouter à la grue de 64 t et une autre de 50 t déjà disponible, de trois super spreader, ou chariots élévateurs spécialisés dans le traitement des containers sur courtes distances, quatre chariots Starcker.

DESIGNATIONS	Nbr total engin	Capacité	Années	Age
CHARIOT ELEVATEURS	38			21
	11	03T	1994	
	3	04T		
	11	06T		
	4	10T		
	2	18T		
Chariot élévateur spreader	1	10 T		2014
Chariot élévateur spreader	1	42T	2006	9
Chariot élévateur stacker	1	45T	2010	5
Chariot élévateur stacker	2	45T	2014	1
Chariot élévateur	1	32T(RORO)	2011	4
Chariot élévateur spreader	1	09 T	2012	3
GRUE LIEBHERR	1	64 T	2014	1
GRUE GOTTWALD	1	63 T à 20 m	2006	9
GRUE AUTO	2	30 T	1994	21
	1	50 T	2011	4
	1	90 T	1985	30
	1	120 T	2012	3
MINI CHARGEUR	1	0,60 M3	1981	34
RETROCHARGEUR	1	0,84 M3	1993	22
	1	0,84 M3	2009	6
CHARGEUR SUR PNEU	1	2,30 M3	2005	10
	1	0,93M3	2013	2
	1	2,60 M3	1991	24
TRACTEUR RORO	1	30 T	1984	31
	1	45 T	2009	6
TOTAUX	53			

Tableau 3.1– Equipement de manutention du port commercial de Ghazaouet

3.6.2 La direction d'exploitation :

Cette direction est chargée de :

L'exploitation des moyens de levage, de manutention, des installations et des outillages, et la gestion des quais, terre-pleins, hangars, bâtiment, et occupation du domaine portuaire plus la maintenance de l'ensemble des équipements de l'entreprise.

Pour mener à bien sa mission, la direction d'exploitation est constituée de trois départements :

- Département manutention et ortiages,
- Département commerciale,
- Département logistique.

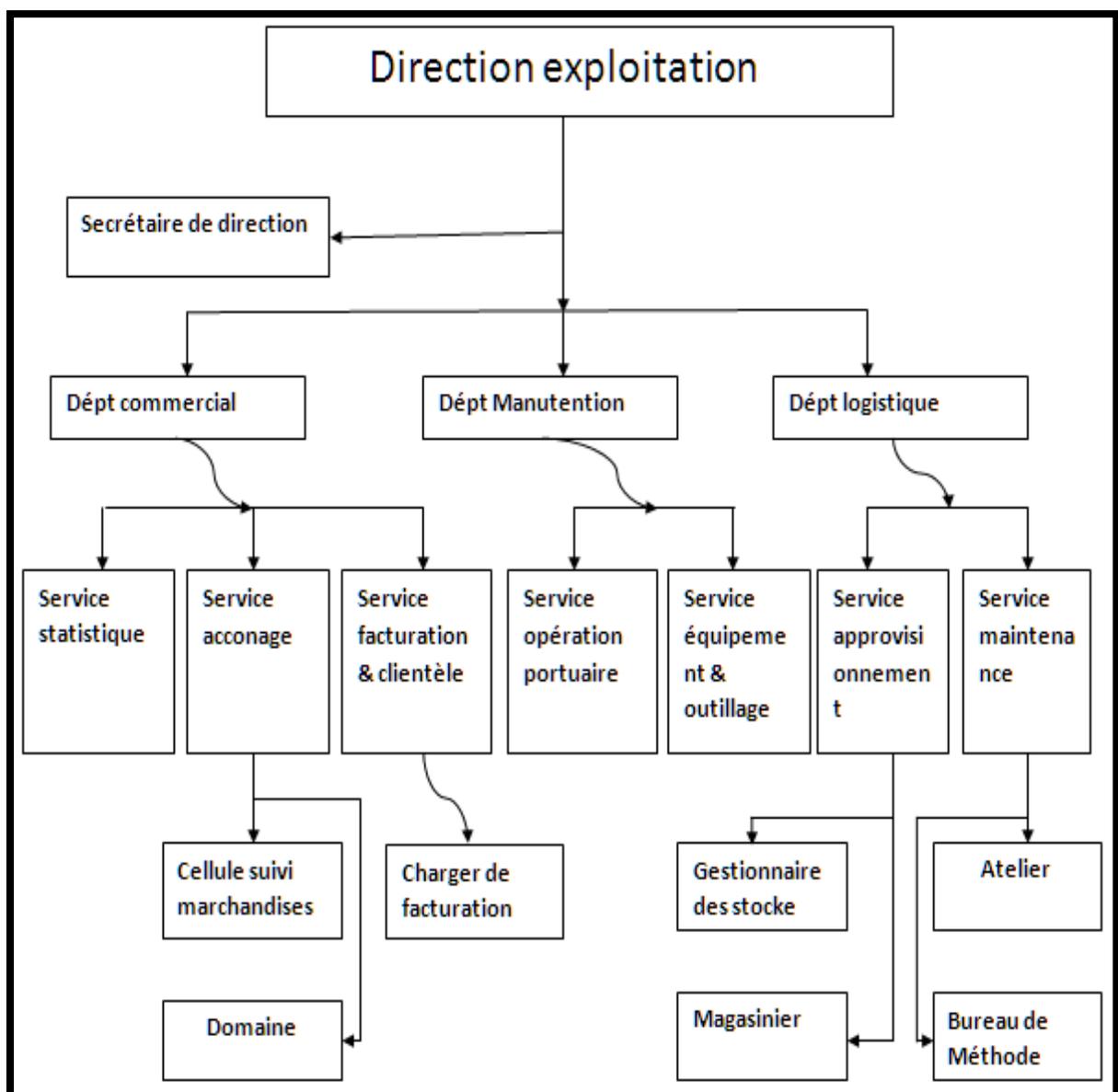


Figure 33 : Schéma d'exploitation

1- Service acconage (suivi marchandises) :

Ce service est chargé de la gestion de toutes les surfaces de port et le suivi des différentes opérations de manutention de marchandises (d'entreposage et d'enlèvement de marchandise) plus le suivi du domaine portuaire, en tenant à jour son fiche d'occupations (BRQ).

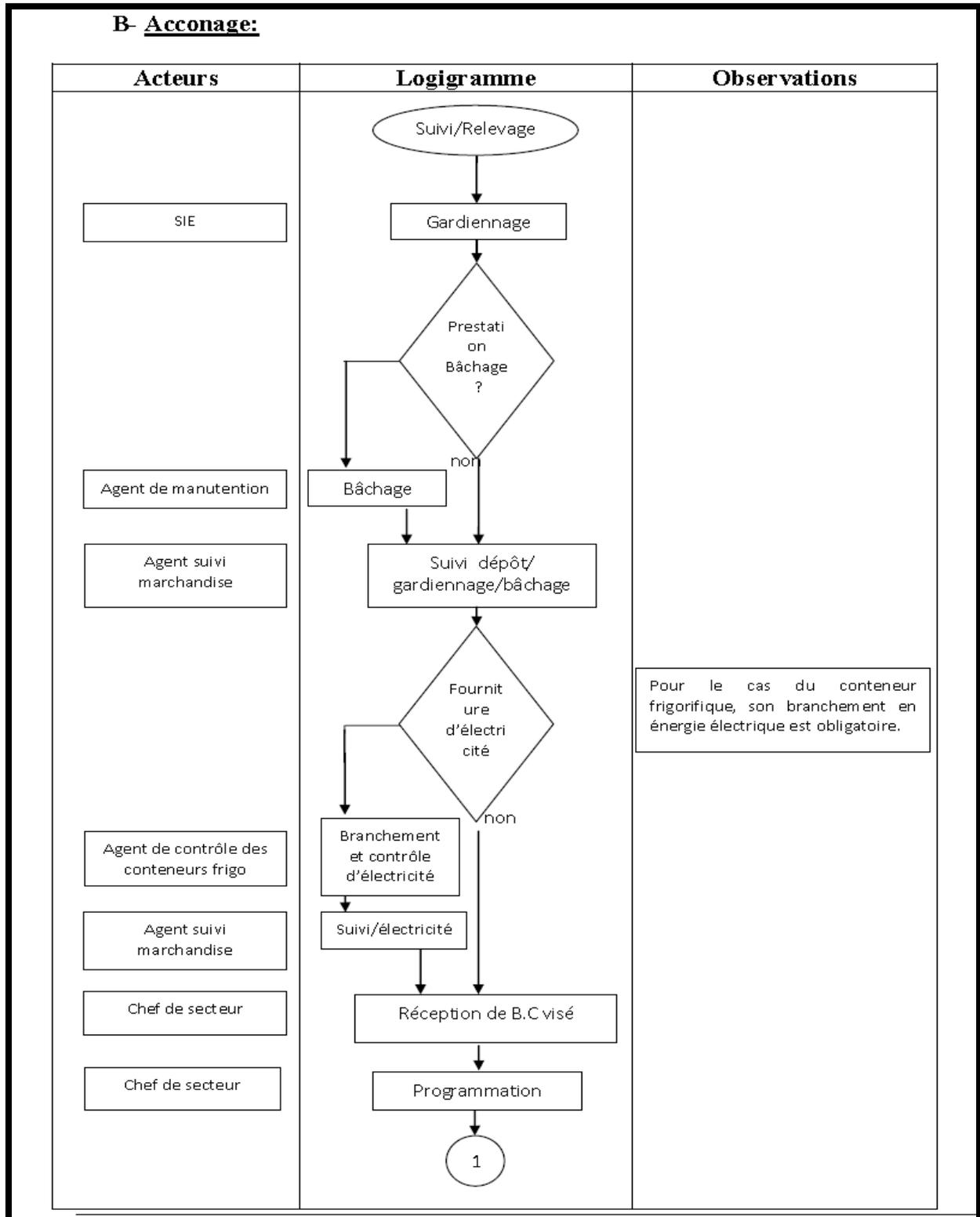


Figure 34: Réalisation des prestations aux marchandises

2- Opérations d'import :

Après le débarquement des conteneurs ou remorque sur terre-pleins, l'agent suivi marchandise procède à l'ouverture d'un dossier acconage constitué des documents suivants :

- Fiche suivi dépôt (Taxe dépôt T.P & Redevances conteneurs)
- Fiche de suivi gardiennage.

Pour le cas du conteneur frigorifique, son branchement en énergie électrique est obligatoire. Il est assuré par des agents de service acconage affectés à cet effet. Pour les camions et remorques frigorifiques, le branchement est assuré à la demande du client. Un « bon de fourniture en énergie électrique » est renseigné par la cellule suivi marchandises, et ce pour chaque client.

a) Visite des conteneurs :

Pour permettre un bon suivi des visites des conteneurs, le transitaire doit remettre au responsable de parc à conteneurs les documents suivants :

- Bon à délivrer,
- Bon de commande (avec visa du département commercial).

Par la suite, le responsable du parc, établit une liste complète des conteneurs à préparer pour la visite du lendemain qui sera remise au pointeur principal, qui doit à son tour préparer les conteneurs en zone de visite le lendemain à partir de 06h 30. Aux termes de la réalisation de la prestation, le pointeur principal doit mentionner sur la liste l'exécution de l'opération de visite qui sera remise au responsable du parc. Par la suite, et sur la base de cette liste, le responsable du parc établit la situation de manipulation conteneurs pleins. Dans tous les cas, les fiches établies doivent être remises au chef de secteur pour vérification et signature, jointes au bon de commande visé, avant leur transmission à la cellule suivi marchandise.

b) Chargement des conteneurs :

Pour permettre un suivi rigoureux des livraisons, le transitaire doit confirmer l'accomplissement des formalités pour déclencher l'opération de chargement. Par conséquent, le responsable de parc doit vérifier la conformité du dossier pour établir l'ordre de chargement qui sera remis au pointeur principal, qui doit à son tour procéder au chargement de conteneur. Le pointeur affecté en zone de visite établit un bon de relevage de conteneur. Au terme de la réalisation de la prestation, le pointeur principal doit mentionner sur la liste, l'exécution de l'opération d'enlèvement qui sera remise au responsable de parc. Par la suite, et sur la base de cette liste le responsable de parc doit mentionner l'opération d'enlèvement sur la situation de manipulation conteneurs pleins, qui sera remise après sa validation par le chef de secteur à la cellule suivi marchandises.

3- Opérations d'export :

Les étapes d'exploitation des opérations d'export sont identiques à celles liées à l'import.

➤ Mise à quai d'un conteneur plein :

Pour un bon suivi des mises à quai, le transitaire doit remettre au responsable du parc, les documents suivants :

- Bon de commande (avec visa du département commercial)
- Demande de mise à quai.

A cet effet, le responsable du parc doit vérifier la conformité du dossier pour établir l'ordre de déchargement à remettre au pointeur principal, qui doit à son tour procéder au déchargement du conteneur en zone de visite. Par la suite, le responsable du parc établit la situation de manipulation des conteneurs pleins. Aux termes de la réalisation de la prestation, le dossier est transmis à la cellule suivi marchandises pour traitement.

➤ Empotage d'un conteneur vide pour export :

Pour un bon suivi de l'opération, le transitaire doit remettre au responsable du parc les documents suivants :

- Bon de commande (avec visa du département commercial),
- Lettre de mise à disposition d'un conteneur vide, établie par le consignataire, avec la liste des conteneurs vides.

Le responsable du parc établit l'ordre de mise à disposition et le transmet au pointeur principal, qui doit à son tour, mettre à la disposition du client les conteneurs vides indiqués sur la liste. Par la suite, le responsable du parc établit la situation de manipulation des conteneurs pleins et vides. Aux termes de la réalisation de la prestation, le dossier est transmis à la cellule suivi des marchandises, pour traitement. Le pesage de la marchandise est effectué dans les mêmes conditions énumérées au paragraphe « C- Réalisation des prestations d'embarquement et de débarquement ».

➤ Mise à quai des conteneurs vides :

La mise à quai des conteneurs vides se fait 48 heures avant l'accostage du navire. Une liste des conteneurs à embarquer est remise par le consignataire aux services de la capitainerie et une copie au service acconage. Le pointeur à la fin de l'opération remet à la cellule suivi des marchandises la feuille de pointage des conteneurs mis à quai.

4- Opérations en fonction des ressources humaines :

Les hommes, les marchandises, l'information et la communication, constituent les éléments essentiels du transport. [7]

Le développement, et ce qui en découle l'organisation, est étroitement liée aux possibilités de circulation offertes par des *pôles*, des *voies*, des *réseaux* aux qualités attractives. [7]
 Les *pôles*, permettant les liaisons, les flux, les transports, etc., sont caractérisés par des "points" qu'on appelle *infrastructures*. [7]

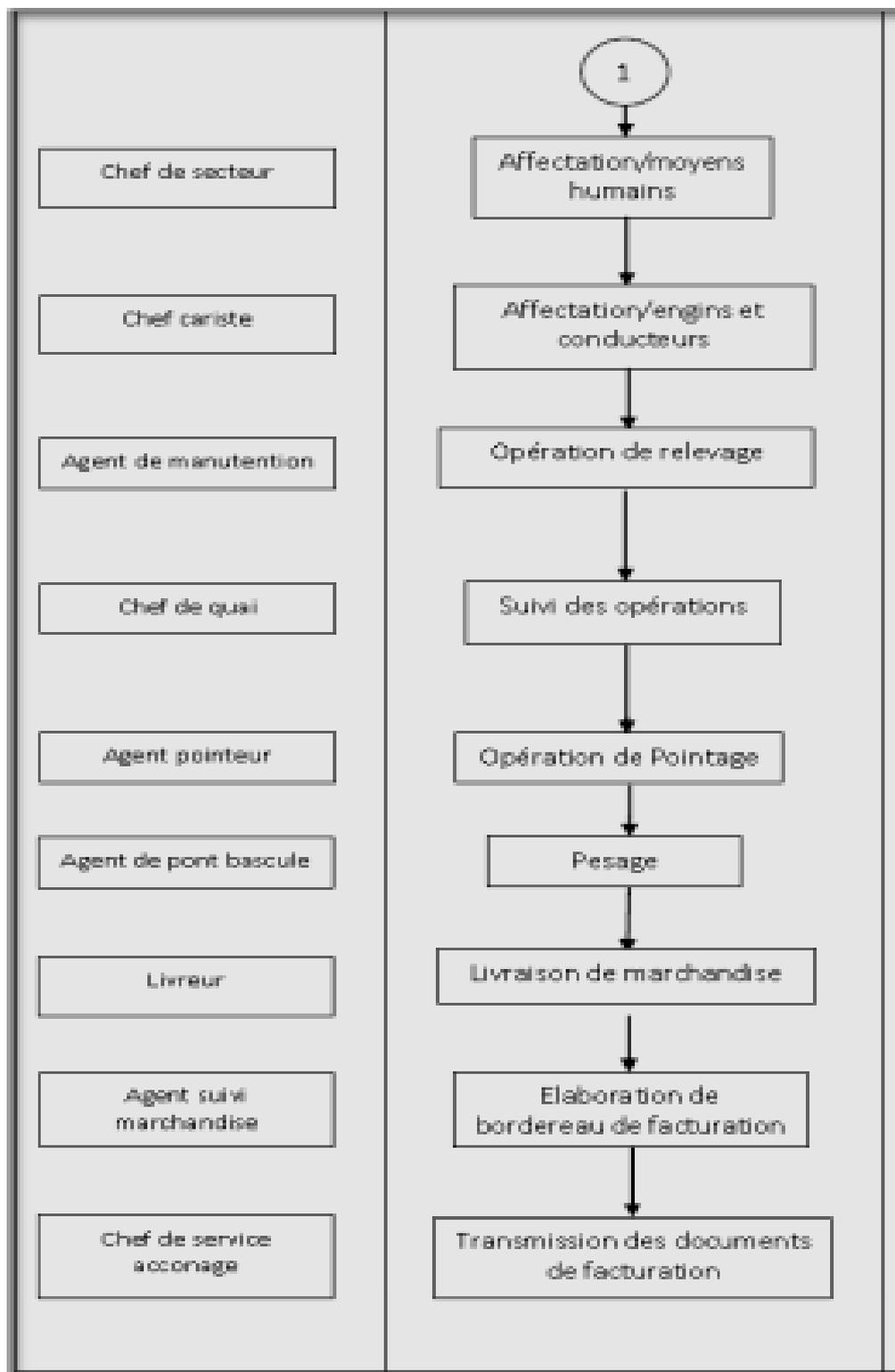


Figure 35 : Affectation de ressources humaines disponibles

3.7 Les Zones de stockage de conteneurs :

- Zone pour les 20' (EVP) non déterminé,
- La 2ème Zone devisée en deux parties, une partie pour le stockage de conteneurs après le débarquement (40 pieds) et la deuxième pour les conteneurs vides (avant l'embarquement), la surface égale 9640 M2,
- La troisième zone possède deux parties, la 1ère pour le stockage de conteneurs de 40 pieds, et la 2ème pour le stockage de conteneurs des produits dangereux, la surface 6838 M2,
- Zone pour des frigos (40' et 20'), une surface de 5770M2,

3.7.1 Zones de visites :

- Devisé en trois parties :

✓ Première partie :

Pour la visite des conteneurs de 40 et 20 pieds, dans une surface de 1580 M2,

✓ Deuxième partie :

Pour la visite des conteneurs de 40 et 20 pieds, dans une surface de 480 M2,

✓ Troisième partie :

Contient deux lignes pour la visite des 20' et une ligne pour les 40', la surface 170 M2.

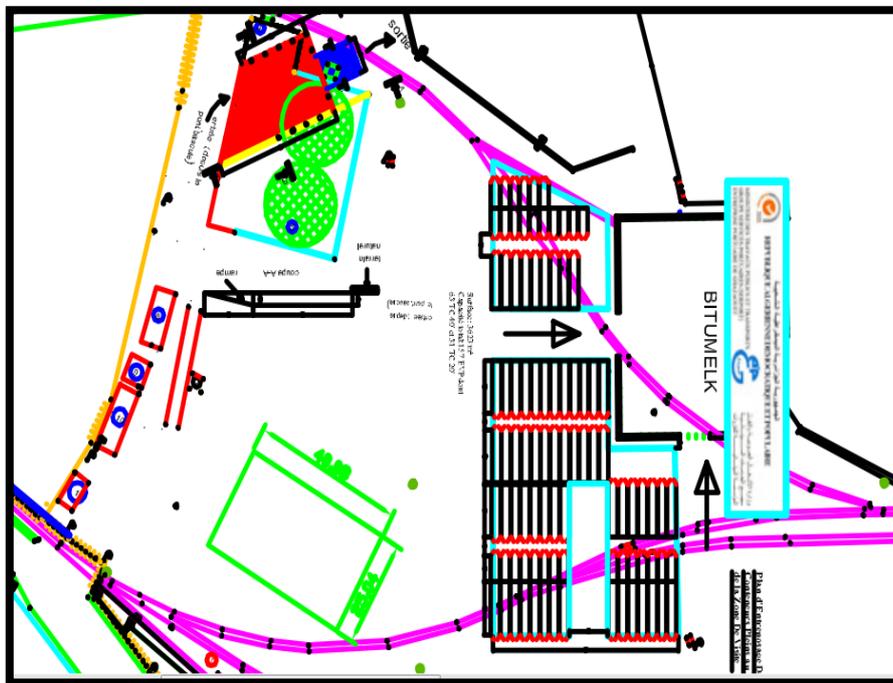


Figure 36 : Les zones de visites de conteneurs

- Zone de conteneurs après visite, S = 1950 M2
- De plus une zone de stockage supplémentaire, S = 3540 M2,

3.7.2 Ports Secs :

- Port sec SIDI AMAR :

Une zone de stockage des conteneurs vides, a 2.5 Km au Sud-est du port de Ghazaouet, la surface égale 2.2 Hectares.

- Port sec TOUNANE :

Une zone non exploitée pour le moment, a 10 Km au Sud-ouest du port de Ghazaouet, la surface égale 3.8 Hectares.

3.8 Conclusion :

Ce chapitre avait pour objectif de détailler les divers processus d'un terminal maritime de conteneurs. Ces processus ont été établis à partir d'observations effectuées dans les ports de moyen taille. Bien que les niveaux d'activité des différents ports de moyen taille ne sont pas comparables à ceux des plus grands ports de monde, il reste que la complexité inhérente à la planification et à la gestion des opérations est aussi présente dans ces ports. Donc, les ports de moyen taille peuvent aussi bénéficier de l'utilisation d'outils d'aide à la décision. Dans le but de positionner les ports moyens par rapport aux ports de grande taille en ce qui a trait à l'utilisation de ces outils.

Chapitre IV

**Le problème de stockage de
conteneurs**

Chapitre IV

Le problème de stockage de conteneurs

4.1 Introduction :

Dans le sens import, lorsqu'un navire arrive au port, la manutention de conteneurs par les grues de quai commence. Les conteneurs sont ensuite transférés par les véhicules qui circulent entre le navire et la zone de stockage. Cet empilement se compose d'un certain nombre de voies de circulation, où les conteneurs peuvent être stockés pendant une certaine période. Les voies sont desservies par des engins, tels que des grues ou des chariots-cavaliers qui peuvent à la fois transporter et stocker des conteneurs dans la pile. Après une certaine période, les conteneurs quittent leur zone de stockage pour être livrés aux clients finaux via différents modes de transport, les navires, les camions ou les trains.

4.2 Processus dans un terminal à Conteneurs :

Dans ce qui suit, nous allons parcourir les différentes activités rencontrées dans un terminal à conteneurs, allant du déchargement d'une barge ou d'un navire (camion ou train) jusqu'à leur chargement sur camion ou train pour les conteneurs en import (en export). Nous nous intéressons aussi aux différents équipements de manutention qui leur sont associés, et discuter des différents problèmes qui en découlent.

4.2.1 Planification de navires : [8]

Le processus de planification de navires se compose de trois sous-opérations : l'allocation des postes à quai, l'arrimage de conteneurs et l'ordonnancement des grues de quais.



Figure 37 : Affectation des navires à des postes à quai

a) Allocation des postes à quai :

Il est préférable que les postes à quai soient proches de cette zone. Lors de l'allocation d'un navire à un poste à quai, on doit tenir compte de la disponibilité des postes à quai et des grues responsables du chargement et du déchargement du navire.

Le problème d'allocation de postes à quai, dit encore le problème d'affectation des navires aux postes à quai, a pour objectif de minimiser la somme du temps d'attente et du temps de manutention des navires. Chaque poste à quai ne peut supporter qu'un seul navire à la fois, et le temps de manipulation d'un navire dépende du poste à quai associé.

b) Arrimage de conteneurs :

Il s'agit de la planification d'arrimage des conteneurs dans un navire. En général, un navire fait escale dans un nombre de ports où les conteneurs seront chargés et déchargés. Ceux qui sont chargés sont destinés à un nombre de ports successifs tout au long la route du navire en question.

Ce problème considère l'affectation des conteneurs à différentes positions dans le navire tout en maintenant sa stabilité et en minimisant le nombre de mouvements inutiles ou parasites.

c) Ordonnancement des grues de quais : [12]

Les opérations de chargement et de déchargement des navires nécessitent des grues de quai qui sont très coûteuses. Le problème d'ordonnancement des grues de quai se réfère à l'allocation d'un nombre fixe des grues de quai aux tâches ainsi qu'à l'ordonnancement des mouvements de chargement et de déchargement. En effet, l'affectation des navires aux postes à quai nécessite de prendre en compte l'affectation des grues de quai aux navires, car le nombre de grues affectées à un navire influence directement le temps de séjour du navire. Le problème étudié consiste à déterminer un emplacement de stockage pour chaque conteneur déchargé et assurer le routage des cavaliers afin de transporter les conteneurs du navire vers la zone de stockage. L'objectif était de minimiser le temps maximum pour servir l'ensemble des navires.

4.2.2 Transport sur le quai : [8]

a) Le premier système utilise les grues d'empilement :

Pour la récupération des conteneurs empilés dans la zone de stockage. Ces grues peuvent être soit *rubber-tired* ou *rail-mounted*. Selon le premier mode, les grues peuvent généralement se déplacer d'une rangée de piles à une autre, et ce suivant l'emplacement des conteneurs destinés à un navire bien dé- terminé.

Après avoir retrouvé le conteneur recherché, la grue d'empilement le charge sur un véhicule transporteur, généralement un wagon transporteur de terminal ou un véhicule guidé automatisé *AGV*, capable de transporter un ou deux conteneurs. Toutefois, quelques terminaux utilisent les systèmes multi remorque, capable de transporter 10 TEU. Le véhicule du terminal conduit les conteneurs vers la grue de quai appropriée, qui se charge de leur soulèvement. Dans la plupart des terminaux, les grues d'empilement et les wagons transporteurs du terminal sont manuellement dirigés (plusieurs terminaux à Rotterdam possèdent un équipement automatisé).

b) Un système alternatif :

Pour le transport des conteneurs dans un quai consiste à utiliser des cavaliers gerbeurs. Ces derniers combinent les propriétés d'une grue et celles d'un véhicule. En effet, ils sont capables de retrouver les conteneurs recherchés et de les amener vers les portiques. Étant donné que ces véhicules peuvent eux-mêmes charger et décharger les conteneurs, ils n'ont pas besoin d'attendre une grue à condition qu'il existe une zone tampon de capacité suffisante. En vue de ces différents arguments, les cavaliers gerbeurs semblent être une composante préconisée de l'équipement d'un terminal. Cependant, ils sont trop coûteux et beaucoup plus incertains qu'un système alliant des grues d'empilement et des véhicules de terminaux. De plus, les cavaliers gerbeurs nécessitent plus d'espace pour pouvoir fonctionner.

- Le choix entre ces trois alternatives est un problème typiquement stratégique. L'un de paramètres intervenant dans ce choix, est celui de l'emplacement géographique du terminal.

Par exemple, les terminaux asiatiques (Hong Kong et Singapour) utilisent le premier système vu que les grues d'empilement permettent un empilement plus élevé (atteignant 6 au port de Busan au Japon), en comparaison au deuxième système, qui est limité à un empilement de 3 à 4 conteneurs (exp : port de Radès en Tunisie). D'autre part, si l'espace de stockage est largement vacant, par exemple dans les ports des USA, un système utilisant des remorques est de prédilection pour la facilité relative de faire fonctionner un tel système.

En Europe, la situation est différente : bien que l'empilement est relativement peu élevé (2 à 4 conteneurs), les cavaliers gerbeurs (Hambourg, Bremen, Rotterdam et Antwerp), les grues d'empilement automatiques et les véhicules automatiques guidés *s AGVs* (Rotterdam) sont tous utilisés.

4.2.3 Ordonnancement des équipements de manutention :

Plusieurs travaux s'intéressent au problème d'ordonnancement des équipements de manutention. Ces travaux se distinguent selon le type des équipements de manutention à ordonnancer. Nous pouvons les classer comme suit :

- Ordonnancement des Grues d'Empilement.
- Ordonnancement des Véhicules Automatiques AGVs.
- Contrôle du trafic des Véhicules automatiques guidés *traffic Control of AGV's*.
- Ordonnancement intégré des grues d'empilement et des véhicules automatiques guidés *Integrated Scheduling of Stacking Cranes and AGVs*.
- Ordonnancement des cavaliers gerbeurs.

En outre, le principe de fonctionnement ainsi qu'une étude comparative des performances des équipements de manutention dans un terminal à conteneurs (figure 38).

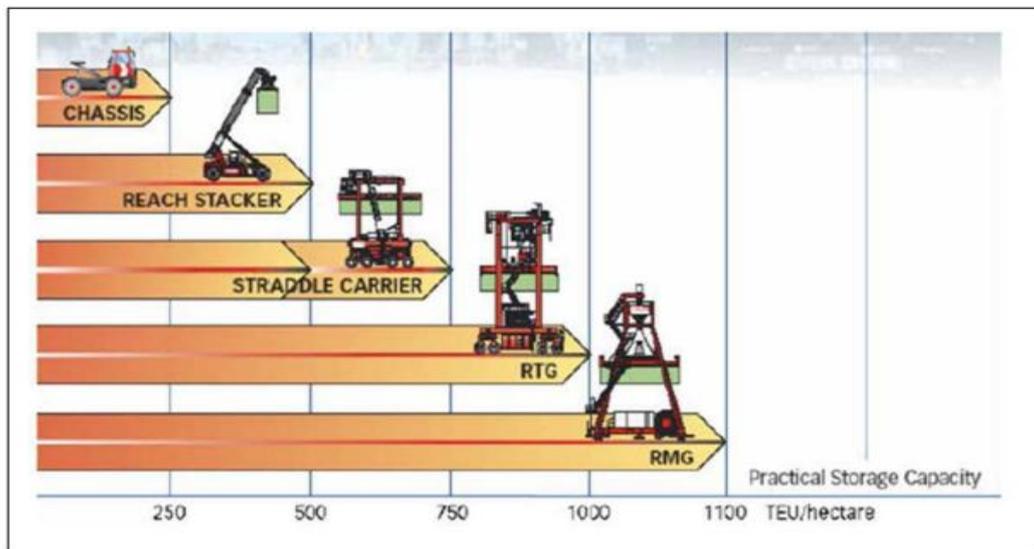


Figure 38 : Types d'équipements de manutention

4.3 Procédure de transport des conteneurs au môle de Djanet :

Quand un navire arrive au port, les conteneurs d'importation doivent être retirés du navire et déposés sur la plate-forme en utilisant des grues de quai.



Figure 39 : Grue de quai du môle de Djanet

Ensuite, les conteneurs sont transférés par des STACKERS aux zones de stockage (stack) où ils peuvent être stockés pendant une période.



Figure 40 : STACKERS du môle de Djanet

Après une certaine période les conteneurs sont récupérés de la zone par des STACKERS et transportés par des véhicules (camions) à un autre mode de transport.

Le processus de chargement et déchargement peut également être exécuté à l'envers, pour charger les conteneurs d'exportation sur un bateau.

Remarque :

Généralement, les opérateurs portuaires visent à atteindre deux objectifs :

- Minimiser le temps moyen pris par les navires dans les postes d'amarrage (Ship turnaround time), qui est une mesure du niveau de service fourni par le terminal à ses clients, à savoir les compagnies maritimes.
- Maximiser le nombre moyen de mouvements des grues (Throughput), qui est une mesure de la productivité d'un terminal.

Un certain nombre de décisions doit être pris au niveau opérationnel pour gérer les opérations ainsi que leurs répercussions. Par exemple, les décisions sur les emplacements de stockage des conteneurs affectent directement la répartition des grues et des conducteurs des grues.

Après l'arrivée d'un navire, les conteneurs importés sont déchargés et sont déplacés de la zone de rassemblement aux emplacements de stockage. Les conteneurs de la même longueur sont normalement empilés les uns sur les autres, et sont autorisés d'y rester pendant quelques jours gratuitement (3 jours à Ghazaouet).

4.3.1 Les intervenants dans la chaîne du transport maritime : [14]

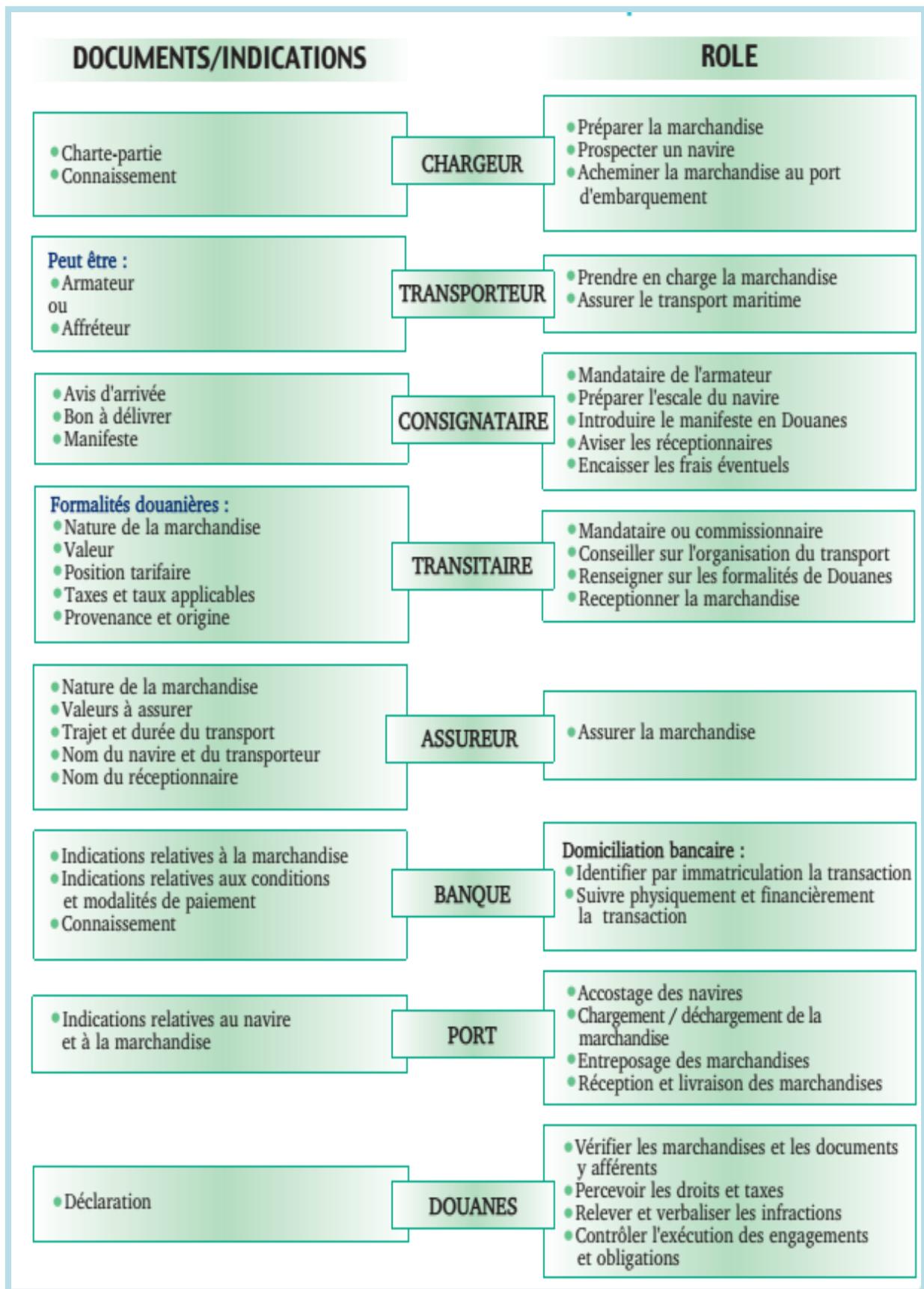


Figure 41 : Les intervenants de la chaîne de transport maritime

4.3.2 Prestations de la Direction Capitainerie :

a) Les missions :

- Assurer le pilotage à l'entrée et à la sortie des navires
- Garantir la sauvegarde des ouvrages portuaires
- Assurer la police et la sécurité dans les limites portuaires
- Affecter les postes à quai

b) Prise en charge de l'accueil du navire :

La Direction Capitainerie positionne le navire dès son arrivée en rade par instruction vers un point de mouillage, ou procède à sa mise à quai directe selon le programme préétabli. L'accueil est assuré en permanence par l'opérateur radio de la station pilotage.

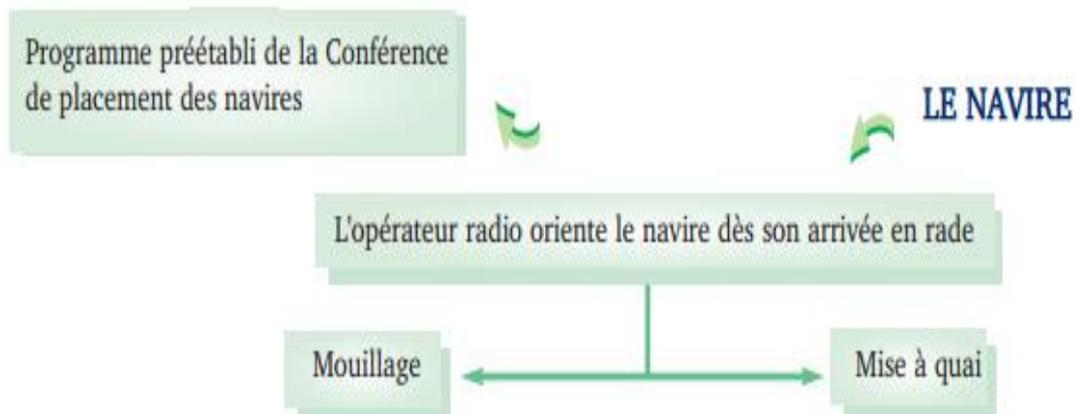


Figure 42 : l'accueil du navire

c) Planification des mouvements des navires :

L'affectation des postes à quai et des moyens de manutention s'établit suivant une revue de contrat de la Conférence de placement des navires (CPN) qui se tient quotidiennement à 10 h au niveau de la Direction Capitainerie.



Figure 43 : Planification des mouvements des navires

d) Mouvement des navires :

Selon le programme arrêté par la CPN, la Direction Capitainerie procède à l'exécution des mouvements d'entrées, de sorties et des mouvements dans le Port. Cette opération est assurée par les opérateurs radio, les pilotes, les patrons de vedettes, les amarreurs et les officiers de port.

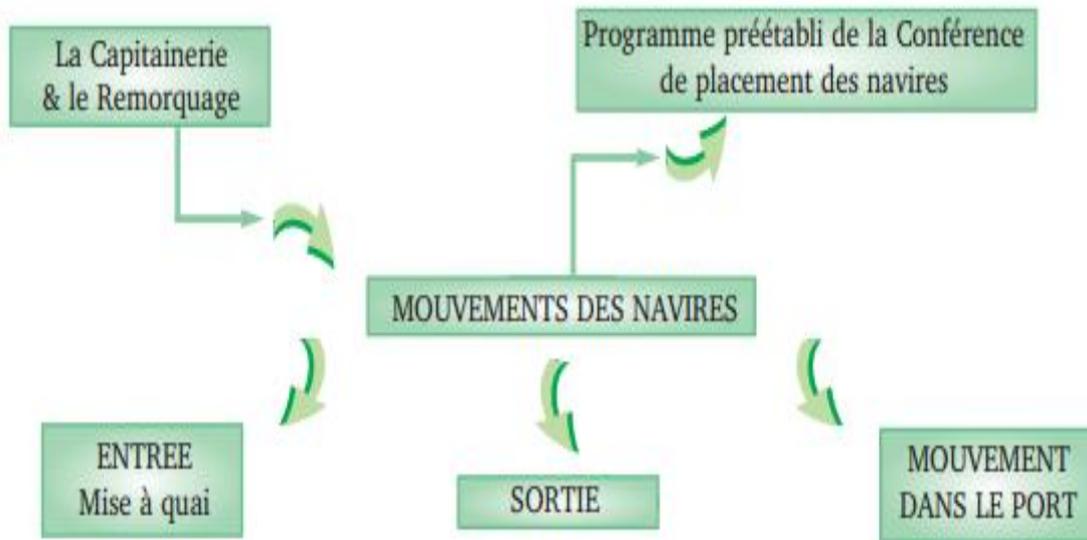


Figure 44 : Mouvement des navires

e) Suivi des opérations de manutention et acconage :

La Direction Capitainerie veille à la sécurité des opérations d'embarquement, de débarquement et d'entreposage des marchandises ainsi que leur conservation dans des magasins, hangars et terre-pleins.

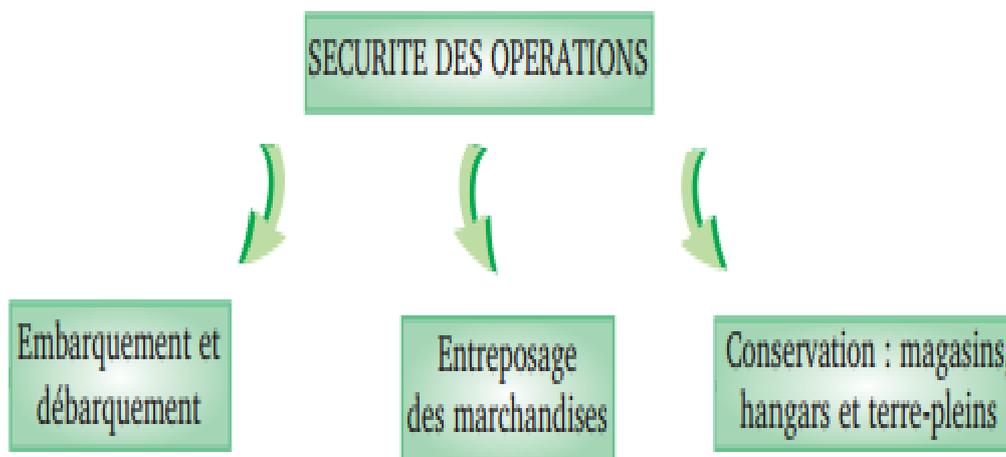


Figure 45 : Suivi des opérations de manutention et acconage

f) Transit des marchandises dangereuses :

CTMD : Centre de transit des marchandises dangereuses

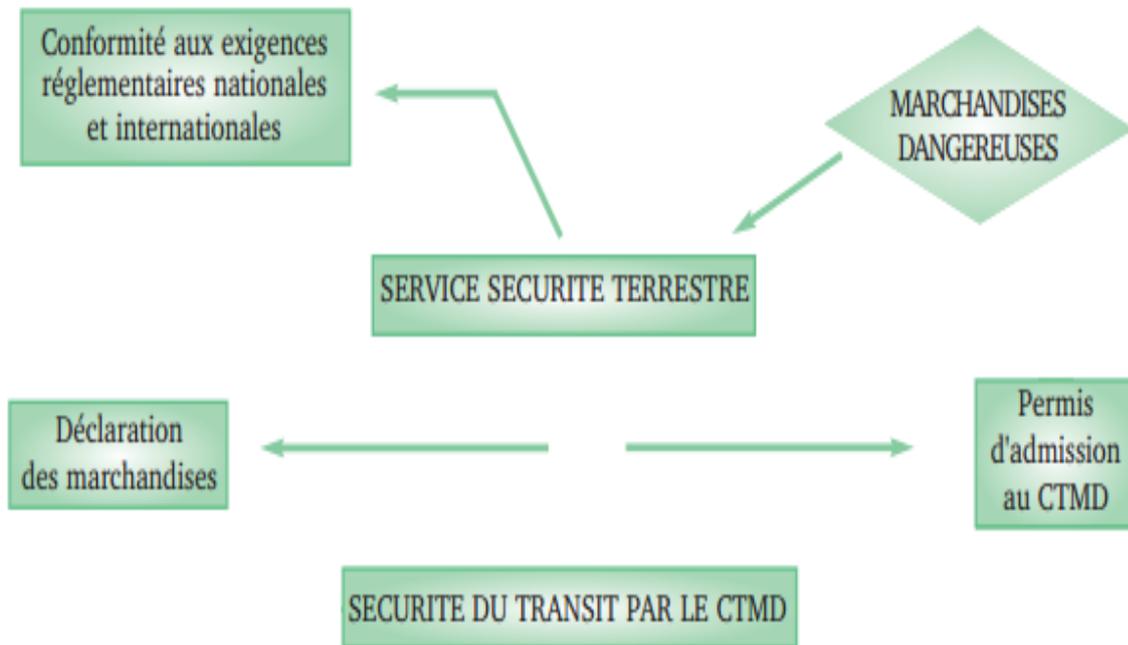


Figure 46 : Transit des marchandises dangereuses

Le client fournit à la Direction Capitainerie un dossier comprenant les pièces suivantes :

- 02 formulaires de “Déclaration de marchandises dangereuses”,
- 01 fiche technique des marchandises dangereuses.

En cas d'acceptation, un permis d'admission est délivré par la Capitainerie.

4.3.3 Prestations de service Manutention et service Acconage :

a) Service Acconage :

- Rassemble toutes les informations relatives à l'évolution du traitement des navires à quai et l'estimation de leur temps de sortie ainsi que la disponibilité des terre-pleins et hangars pour le stockage,
- Participe lors de la CPN aux décisions d'entrée des navires et recueille les commandes des clients (équipes et engins) pour le traitement de leurs navires.

b) Service Pointage :

- Assure le suivi de pointage des marchandises débarquées, embarquées, entreposées, enlevées et pesées,
- Relève les avaries ou dommages constatés.

c) Service Engins :

- Exécute les commandes de moyens nécessaires au traitement des navires formulées par le service Acconage en CPN ou après par le client,
- Répond aux commandes engins des clients pour le relevage et la location externe (intervention de proximité).

d) Chargement et déchargement :

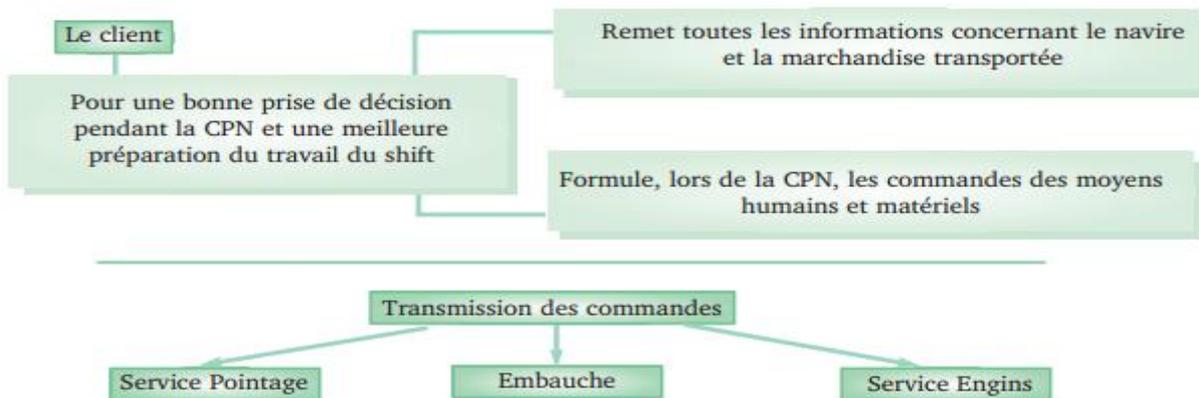


Figure 47 : Embarquement et Débarquement

Pour les embarquements, le client doit remettre au chef de section Acconage ou le chef pointeur un bon d'embarquement ou un listing provisoire en attendant le manifeste.

e) Stockage des marchandises :



Figure 48 : Stockage des marchandises

- Les marchandises non périssables sont admises à l'entreposage en terre-pleins,
- Les conteneurs frigorifiques sont admis au parc approprié sur demande du client,
- Les produits dangereux sont acheminés au CTMD conformément aux règles et modalités d'admission des produits dangereux au CTMD,
- Les marchandises conteneurisées sont acheminées et entreposées dans le terminal à conteneurs.

Outre le gardiennage qui s'effectue à la demande du client, d'autres prestations telles que le bâchage, etc.... sont réalisées par la Direction Manutention et Acconage lorsque la nature de la marchandise le nécessite. Cette dernière est préservée même si le client n'en formule pas la commande. L'acconier fait intervenir les moyens nécessaires pour que la marchandise confiée ne subisse aucune altération pendant l'entreposage.

f) Traitement des conteneurs :

La gestion du parc à conteneurs passe par plusieurs prestations tant à la réception qu'à la livraison, dont voici les principales :

○ Débarquement :

Le client doit mettre à la disposition du chef pointeur une copie du manifeste, afin de préparer le transfert des conteneurs au parc, lieu de leur entreposage.

○ La Visite :

Le client doit présenter au chef pointeur, de préférence avant le début des opérations, la liste des conteneurs à visiter.

○ Le Dépotage :

Le client présente une demande de dépotage accompagnée de la liste des conteneurs à dépoter, un bon à délivrer et un bon de pointeur.

○ La Livraison :

Le client présente un bon à délivrer avec la liste des conteneurs à livrer, un bon pointeur et une mise à quai pour faciliter le pointage lors de la restitution.

○ La Restitution :

Dans le cas où le client n'a pas remis de demande de mise à quai pendant la livraison, il devra le faire lorsque le conteneur est restitué.

○ L'Embarquement :

Pour faciliter la préparation des escales, les bons d'embarquement doivent être remis 48 heures avant l'arrivée du navire avec la liste des conteneurs à embarquer.

○ L'Empotage :

Le client présente une demande d'empotage accompagnée de la liste des conteneurs à empoter et un bon de pointeur pour le suivi de l'opération.

4.4 Problème de Stockage de conteneurs :

La zone de stockage est une zone tampon constituée par plusieurs blocs. Elle sert à stocker les conteneurs qui transitent par le terminal. La plupart des terminaux visent à mieux gérer la capacité limite de leurs terrains. Il est donc impératif de mieux exploiter les ressources et de bien gérer leurs espaces de stockage. Ce problème consiste à l'allocation des emplacements pour le stockage des conteneurs dans un bloc. L'objectif est de minimiser les coûts liés aux mouvements improductifs causés par un mauvais empilement de conteneurs. Ceci a un effet considérable sur les temps de séjour des navires, car les navires restent inactifs à quai pendant la durée de manutention. [12]

Les conteneurs doivent être transportés du navire aux emplacements de stockage (stack) et vice versa. La résolution de ce problème comprend deux parties. La première consiste à choisir le type de l'équipement de manutention qui prendra en charge le transport des conteneurs. La détermination du nombre nécessaire de véhicules participants dans cette opération fera l'objet de la deuxième partie. [13]

Zhang et al, 2003 ont développé un modèle en nombres entiers concernant le problème d'allocation de l'espace de stockage pour le port de Hong Kong. Pour cela, ils ont décomposé le problème à deux niveaux : d'une part, il s'agit de déterminer le nombre de conteneurs associés à chaque bloc de stockage et d'autre part, déterminer le nombre de conteneurs de chaque navire affecté à chaque bloc de stockage. [12]

Les notions de base du PSC ainsi éclaircies, il s'avère alors important de définir ce problème, de donner la formulation la plus adoptée qui aidera à définir clairement les objectifs, les contraintes et les paramètres du problème, parcourir quelques problèmes analogues, et pour finir, fournir une synthèse bibliographique des différentes méthodes existantes pour sa résolution. [8]

4.4.1 Définition du PSC :

À l'arrivée d'un conteneur en import ou en export, il s'agit de décider presque en temps réel de son emplacement exact parmi les emplacements vides de manière à rendre efficace son chargement sur un navire, camion ou train. En général, la détermination d'un emplacement doit s'effectuer de manière à minimiser le nombre des mouvements parasites ou improductifs pouvant avoir lieu lorsqu'on veut rapprocher un conteneur éloigné ou extraire un conteneur se trouvant en dessous d'autres au moment de son départ pour être chargé sur le navire, train ou camion associé. [15]

- **Problème de stockage de conteneurs à Ghazaouet :**

- 1) **Le type d'équipement de manutention :**

- ✓ Chariot élévateur SPREADER ou STACKER :

- niveau de gerbage (trois pour un conteneur plein et quatre pour le vide), pourtant le niveau de gerbage peut atteindre 6, 7 et plus avec d'autres moyens, de plus ne peuvent opérer que sur la première rangée, (il nécessite plus d'espace et beaucoup de temps)
- Vitesse à vide et en charge 45T : 25Km/h, (416m/min), la distance max égale à (416m) sans contraintes (et ce n'est pas notre cas à Ghazaouet).
- Relevage montée de 0° à 60° : à vide (22s), en charge 30t (25s),
- Relevage descente de 60° à 0°: à vide (21s), en charge 30t (14s),
- Réservoir de carburant 520 L



Figure 49 : Les hauts niveaux de gerbage

Pour les terminaux neufs et petits, les chariots élévateurs et container stackers garantissent une flexibilité à faible coût. La capacité de stockage est de 500 TEU par hectare (sur 3 à maximum 4 niveaux).

- ✓ Les Grues :

Des navires plus grands et un marché du transport de conteneurs en croissance constante mettent les terminaux conteneurs sous forte pression. Ceci ne requiert pas seulement des grues plus rapides, mais le matériel sur le terrain doit aussi pouvoir suivre la vitesse de manutention de ces grues pour conteneurs.

Spécifications :

Capacité	: 63 T/10-21 M-26.6 T/38 m
Boom sensibilisation	: 10-38 m
Hauteur de levage	: Au dessus du sol max. env... 28 m Dessous du sol max. env... 15 m
Moteur	: Cumins
Total propre poids	: Env. 240 t
Équipement	: Sur crochet (NO Spreader disponible)
Heures	: MOTEUR: 25.000 H de levage: 11.500 H Relevage: 22.600 H d'orientation: 10.700 H
Plus d'info	: -Grue est appropriée pour la manipulation de marchandises générales,

Tableau 4.1 - les spécifications de la grue

Le temps d'immobilisation des navires à quai est donc un paramètre important du cout du transport. Ainsi les deux prestations principales attendues pour la grue sont la sécurité des hommes et des marchandises et la cadence de transfert, La figure 49 donne les caractéristiques du cahier des charges partiel de la phase de déchargement.

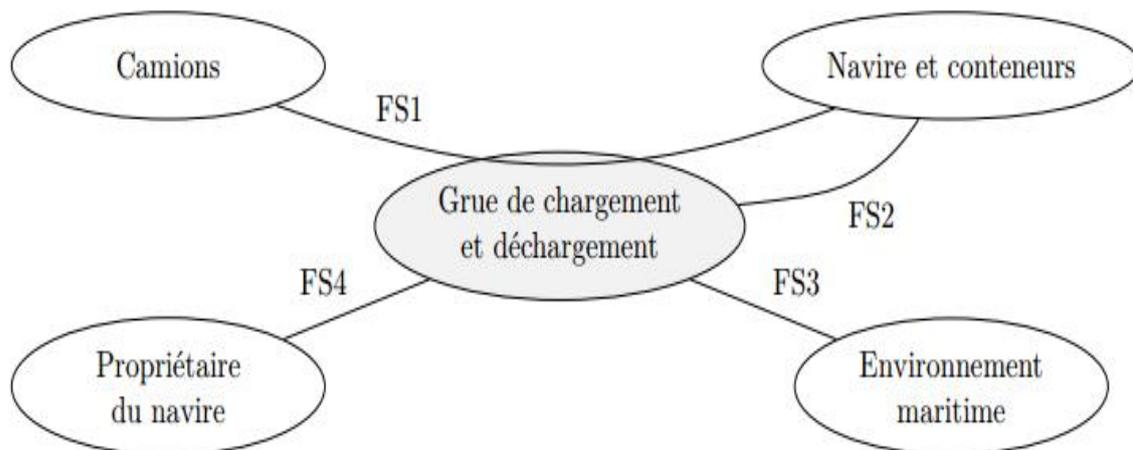


Figure 50 : Diagramme partiel des inters acteurs

– FS1 : déplacer les conteneurs du navire vers les camions de transfert ;

Les camions ne sont pas disponibles pour transporter les conteneurs au port, la grue utilisée déplacer les conteneurs du navire vers le sol de quai au cours de déchargement (mouvements improductifs).

– FS2 : assurer la sécurité du contenu du conteneur ;

– FS3 : fonctionner malgré des conditions météorologiques difficiles ;(climat, changement de température,...etc.)

– FS4 : assurer une cadence de transfert suffisamment rapide et le nombre moyen de mouvements des grues est une mesure de la productivité d'un terminal, et les grues à Ghazaouet ne sont pas rapides (100 conteneurs le maximum pendant 6h « shift », et 20 mouvement par heures).

Critères importants des grues plus développés :

- Masse maximale du conteneur (40 tonnes),
- Longueur × largeur du navire (400 m × 50 m),
- Précision du positionnement du conteneur (10 cm),
- Plage de vitesse de vent autorisant les activités portuaires de déchargement égale à 0 à 120 km · h⁻¹ (Vitesse maximale du vent mesurée au cours des 100 dernières années 300 km · h⁻¹),
- Cadence (2 min par conteneur en moyenne).

2) Nombre nécessaire de véhicules participants dans cette opération :

- Deux grues
- Deux chariots STACKERS, un chariot Elévateur

L'équipement disponible est insuffisant pour le transport et le stockage des conteneurs sur le quai, ce qu'implique que le remplacement de ce type d'équipement est une vérité, et l'investissement pour acheter d'autres moyens de manutention est la meilleure solution possible.

3) le nombre de conteneurs associés à chaque bloc (zone) de stockage :

- Quelle est la capacité de chaque zone de stockage ?

(Les valeurs qui existent, déterminer par expérience et non pas par précision).

- Quel est le nombre actuel de conteneurs (avant l'arrivée de navire) dans chaque zone ou bloc ? (une information de la disponibilité d'espace connue à partir des agents, mais le nombre exacte est non déterminé).

A partir d'une étude pratique au port, nous avons remarqués que les dimensions des zones de stockage ne sont pas bien mesurées (des erreurs a partir des données fausses).

4) Le nombre de conteneurs de chaque navire affecté à chaque bloc de stockage :

- ✓ Il faut déterminer :
- Le nombre total de conteneurs de chaque navire, (information avant 48h : par document appelé « Manifeste»),
- Le type de conteneurs, (20', 40', frigos...etc.) et le nombre de chaque type(Manifeste)
- Le poids de chaque conteneur,
- La position de conteneurs dans chaque navire, (pour l'allocation de quai)

4.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes opérations et problèmes en logistique portuaire, les problèmes de la planification des postes d'amarrage, chargement et déchargement des navires de transport, de conteneurs, du bateau à la zone de stockage et vice versa, de stockage des conteneurs (PSC).

Nous avons détaillé l'étude du problème de stockage de conteneurs (PSC) qui correspond au problème traité dans ce mémoire.

Dans la prochaine partie, nous présentons les méthodes de résolution utilisées et nous détaillerons les approches adoptées pour la résolution du PSC.

Partie B
Approches de Résolution

Chapitre I
Méthodes et approches
adoptées

Chapitre I

Méthodes et approches adoptées

1.1 Introduction :

Dans les chapitres précédents, nous avons dressé une étude bibliographique exhaustive concernant les problèmes de transport conteneurisé, le problème particulier de stockage de conteneurs- PSC. Dans le reste de ce manuscrit nous allons alors nous intéresser aux différents méthodes et concepts adoptés dans des modèles que nous allons les proposer à savoir :

- a) Les systèmes multi-agent : étant une méthode de modélisation, simulation et résolution distribuée.
- b) Les réseaux de PETRI : étant des méthodes formelles pour la description et la formalisation.
- c) L'optimisation heuristique : étant une méthode d'optimisation approchée.

1.2 Les systèmes multi-agent :

Nous donnons des raisons liées d'une part à la nature même du PSC, et d'autre part à l'application en elle-même des systèmes multi-agent : [8]

Le problème de stockage de conteneurs est modélisé par un système complexe et ouvert.

Il peut se rattacher d'autres systèmes tels que le problème de chargement des navires et le problème d'ordonnancement des équipements de manutention. De plus, il se caractérise, d'une part, par la nature matérielle de ses éléments (conteneurs, piles, équipements, navires, etc.), et d'autre part, par la richesse des interactions entre eux.

La nécessité d'existence de traitements coopératifs dans la réalité du système puisque deux conteneurs peuvent entrer en interférence, soit au niveau des buts (nouvel emplacement), des résultats (mouvements effectués), soit au niveau des procédures (détermination de nouveaux emplacements). Alors, il faut en sorte traiter ces interférences pour que l'activité de stockage d'un conteneur soit réalisée de façon à faciliter la réalisation de celle de l'autre; ou la réalisation de la tâche commune (si elle existe) comme par exemple : libérer leur emplacement au profit d'un troisième conteneur. Cela nous mène à l'utilisation de méthode de coopération empruntées telles que : la négociation et la planification distribuée entre agents.

Dans le cas du PSC, les conteneurs qui recherchent des emplacements ou bien qui veulent partir ont différentes perceptions de leur espace environnant constitué par les autres conteneurs, doivent coopérer pour résoudre leurs sous-problèmes et conflits pour atteindre une solution globale.

La recherche dans le domaine des systèmes multi-agent revêt de plus en plus d'importance pour leur capacité à aborder des systèmes complexes c'est à dire les systèmes constitués de nombreux composants en interaction dynamique entre eux et avec le monde extérieur.

D'autres travaux ont montré que l'application des systèmes multi-agent est d'un grand apport dans la résolution de problèmes fortement combinatoire (NP-complets et NP-Difficiles). tels que le problème de tournées de véhicules, le problème de partitionnement de graphes, le problème d'ordonnancement, etc.

Depuis une dizaine d'années, les systèmes multi-agent ont connu un grand essor et sont appliqués à des domaines très variés comme, par exemple, le domaine de la simulation et de la vie artificielle, la robotique, le traitement d'images, etc. Cet essor manifeste des SMA émane de la critique des approches séquentielles ou fonctionnelles et de l'intelligence artificielle classique. En résumé, il est intéressant d'observer la place qu'occupent les systèmes multi-agent dans l'évolution des paradigmes de l'informatique selon. La figure 50 illustre cette place.

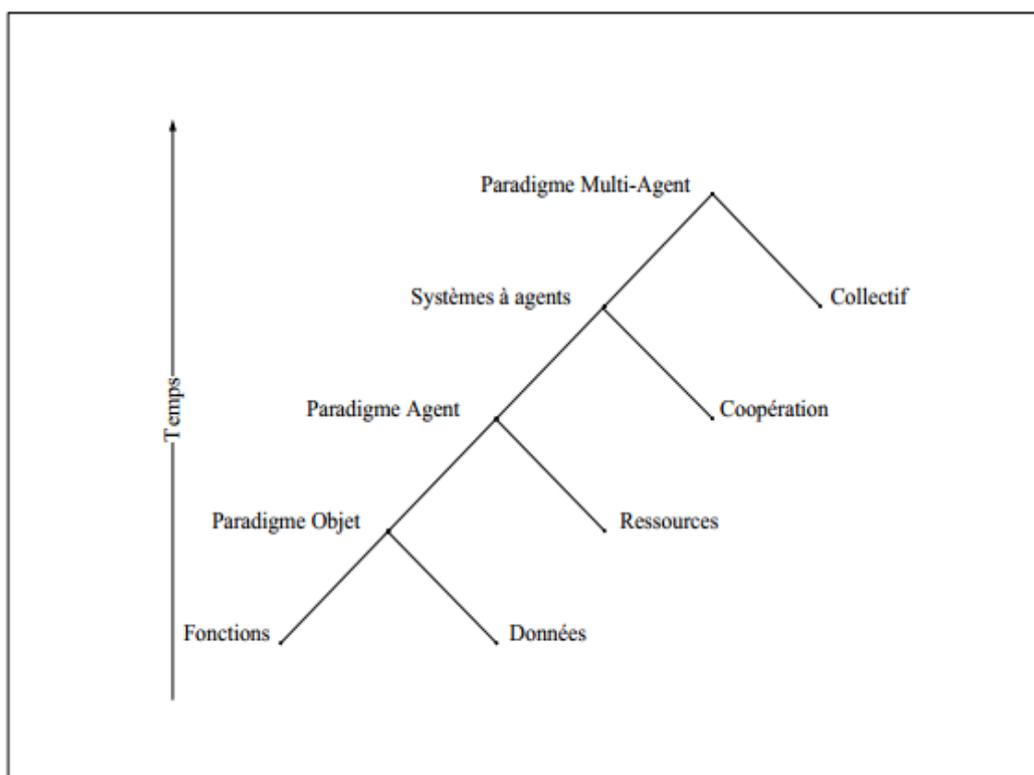


Figure 51 : Evolution des paradigmes de programmation

Dans la suite, nous présentons les notions d'agents et de systèmes multi-agent, et détaillons les différentes questions que soulève l'approche SMA telles que : les interactions et la coopération, la coordination, la planification et la communication.

1.2.1 *Qu'est ce qu'un agent ?*

Un agent peut être défini comme une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agent, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents. [Jacques Ferber].

[8]

Cette définition aborde une notion essentielle : l'autonomie. En effet, ce concept est au centre de la problématique des agents. L'autonomie est la faculté d'avoir ou non le contrôle de son comportement sans l'intervention d'autres agents ou d'êtres humains. Une autre notion importante abordée par cette définition concerne la capacité d'un agent à communiquer avec d'autres.

1.2.2 *Qu'est ce qu'un Système Multi-Agent SMA ?* **[8]**

Un système multi-agent est un système composé des éléments suivants :

- Un environnement est un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets situés dans l'espace, ils sont passifs, ils peuvent être perçus, détruits, créés et modifiés par les agents.
- Un ensemble d'agents qui sont les entités actives du système.
- Un ensemble de relations qui unissent les objets entre eux.
- Un ensemble d'opérations permettant aux agents de percevoir, de détruire, de créer, de transformer et de manipuler les objets.
- Un ensemble d'opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification (les lois de l'univers).

Un système multi-agent est un ensemble homogène ou hétérogène d'agents situés dans un même environnement et qui interagissent. De ces interactions peuvent émerger différents phénomènes que l'on peut classer en trois catégories : l'émergence structurelle, l'émergence de comportements et l'émergence de propriétés.

SMA = Agent + Environnement + Interaction + Organisation.

Cette décomposition d'un SMA est dite décomposition Voyelles qui identifie un axe Agent, un axe Environnement, des Interactions et une structure Organisationnelle explicite ou non.

Un SMA est généralement caractérisé par :

- Chaque agent a des informations ou des capacités de résolution de problèmes limitées, ainsi il a un point de vue partiel.
- Il n'y a aucun contrôle global du système multi-agent.
- les données sont décentralisées.
- le calcul est asynchrone.

Les types courants d'interaction dans un SMA incluent la coopération (travailler ensemble à la résolution d'un but commun); la coordination (organiser la résolution d'un problème de telle sorte que les interactions nuisibles soient évitées ou que les interactions bénéfiques soient exploitées) et la négociation (parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées).

La recherche sur les systèmes multi-agent est ainsi une recherche sur :

- **La communication :**

Le problème de la communication entre agents peut se résumer aux questions suivantes : communiquer quoi, à qui ? Quand ? Et comment ?

La communication est primordiale dans le sens où elle constitue un moyen pour acheminer et véhiculer les messages de toutes sortes qui permettent de résoudre les conflits de coopération et de coordination.

Plusieurs modèles de communication sont proposés :

- Communication par environnement,
- Communication par partage d'information ou blackboard (ou à contrôle centralisé),
- Communication par envoi de messages (ou à contrôle distribué).

- **La coopération :**

Les agents travaillent à la satisfaction d'un but commun par le biais de l'échange d'informations ou individuel via la sous-traitance des buts.

L'objectif de la coopération est d'améliorer le mode de travail des agents en terme de :

- Validité et rationalité des informations échangées et des comportements.
- Efficacité des stratégies de résolution employées.
- Cohérence entre la planification locale et globale.
- Rééquilibrage dynamique de la charge de travail.

On distingue deux modèles de coopération : Collaboration par allocation des tâches, des informations et des ressources et Coordination d'actions et résolution de conflits.

- **La négociation :**

Le processus d'améliorer les accords (en réduisant les inconsistances et l'incertitude) sur des points de vue communs ou des plans d'action grâce à l'échange structuré d'informations pertinentes. Le protocole du réseau contractuel été une des approches les plus utilisées dans un SMA.

- **Planification :**

En planification multi-agent centralisée, un agent est responsable pour la création du plan qui spécifie les actions planifiées pour tous les agents concernés.

Une autre façon d'implémenter la planification multi-agent centralisée a été proposée : Dans cette approche, les plans des agents sont d'abord créés de façon individuelle, ensuite un agent centralisateur rassemble ces plans et les analyse pour identifier les conflits. L'agent centralisateur en question essaye de résoudre les conflits en modifiant les plans locaux des autres agents et en introduisant des commandes de communication afin que les agents se synchronisent de façon appropriée.

1.2.3 Simulation : [12]

Nous avons nommé la simulation de la démarche scientifique qui consiste à réaliser une reproduction artificielle, appelée modèle, d'un phénomène réel que l'on désire étudier, à observer le comportement de cette reproduction lorsqu'on en fait varier certains paramètres, et à en induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence de variations analogues.

La démarche de simulation passe donc par trois étapes distinctes: l'étape de modélisation, qui consiste à construire le modèle du phénomène à étudier, l'étape d'expérimentation, qui consiste à soumettre ce modèle à un certain type de variations, et l'étape de validation, qui consiste à confronter les données expérimentales obtenues avec le modèle à la réalité.

La simulation est le développement d'expériences sur un modèle. Elle permet la représentation d'un système réel, en vue d'évaluer ses performances et les propriétés de son comportement. Par ailleurs la simulation peut être utilisée pour dimensionner un système, améliorer le taux d'utilisation des équipements et aussi démontrer le potentiel de l'installation d'un nouvel équipement.

La conduite d'une simulation nécessite de suivre les étapes suivantes [Figure 52] :

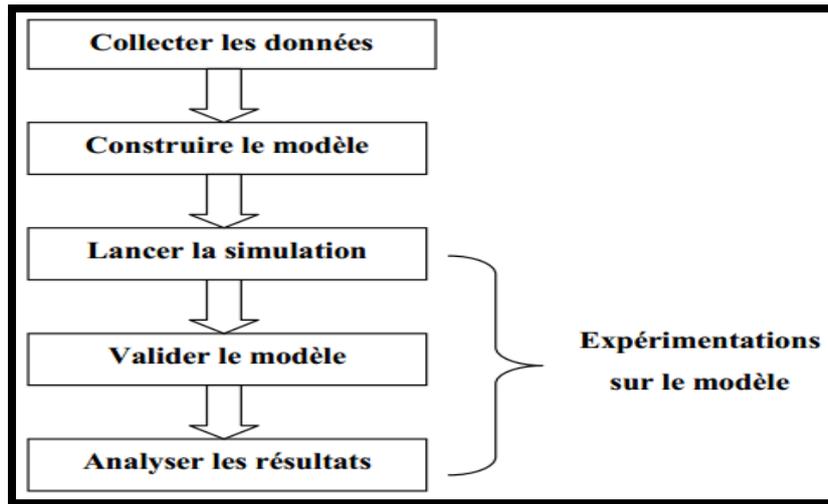


Figure 52 : Les étapes nécessaires pour la conduite d'une simulation

1) Analyser et modéliser le système étudié :

La simulation consiste à construire un modèle à partir d'un système réel et à réaliser des expériences sur ce modèle afin de tester son fonctionnement et d'évaluer ses performances. Pour ceci, une première modélisation est indispensable afin de préciser les processus à simuler, d'exprimer les différentes relations et interactions entre ces processus, les liens du futur système avec l'environnement et les systèmes existants et ainsi les différents acteurs impliqués dans les différentes activités.

2) Construire le modèle de simulation :

Le développement d'un simulateur peut se faire soit par l'utilisation d'un langage de simulation (ARENA, Flexsim, Anylogic) ou l'utilisation d'un langage de programmation.

3) Mettre en œuvre le modèle de simulation :

Cette phase est le résultat des étapes précédentes. Il s'agit de lancer la simulation du modèle réalisé afin d'obtenir les résultats spécifiés. L'objectif principal de cette phase est de tester plusieurs scénarios pour analyser et évaluer la performance du système étudié.

4) Valider le modèle de simulation :

La validation d'un modèle de simulation joue un rôle très important, car elle permet aux exploitants de faire confiance aux résultats des simulations. L'objectif principal du processus de validation est de s'assurer que les hypothèses et la modélisation du système réel sont raisonnables et correctement mises en œuvre.

Il existe différents types de simulation, à savoir, la simulation à événements discrets, la simulation continue et la simulation multi-agent.

- **La simulation à événements discrets :**

Dans une simulation à événements discrets, le système étudié change d'état suite à l'arrivée d'un ou de plusieurs événements. La simulation à événements discrets permet de décrire des systèmes dont l'état change à des instants précis. Une de ses limites est due à son principe qui consiste à décrire les changements d'état par des algorithmes et de définir pour chaque événement des contraintes de précedence entre les activités.

- **La simulation orientée objet :**

L'approche par objet consiste à modéliser le système par un ensemble d'entités qui interagissent entre eux par envoi de messages. Grâce à ses propriétés de réutilisabilité, de localité des données et de sa capacité d'intégration des informations l'objet doit utiliser l'ensemble de ces caractéristiques pour répondre aux attentes du concepteur. La conduite d'une simulation objet nécessite une analyse du système afin de le décomposer en un certain nombre d'objets. En effet, ces objets doivent avoir des attributs et des opérations. Ensuite, il convient de décrire ces objets, leurs attributs et l'interaction entre eux.

- **La simulation Multi Agent :**

La simulation Multi Agent est une méthode de modélisation plus récente que les systèmes dynamiques ou la modélisation à événements discrets.

Donc, un système multi-agents est composé d'agents autonomes et leur principe consiste à coopérer et à communiquer afin d'atteindre un objectif avec les meilleurs performances.

1.3 Les réseaux de PETRI :

Les réseaux de Pétri constituent un outil graphique et mathématique qui permet de simuler et modéliser des systèmes dans lesquels la notion d'événements et d'évolution sont importants. C'est Carl Adam Pétri qui a inventé ce formalisme en 1962. [16]

Concrètement un réseau de Pétri est un graphe biparti comprenant deux sortes de nœuds : les places et les transitions. Les arcs de ce graphe relient les transitions aux places ou les places aux transitions. Les places contiennent des jetons ou marques qui se déplacent de place en place en franchissant les transitions suivant les règles de franchissement. On dit qu'une transition T est franchie, si toutes les places P d'entrée pour les quelles il existe un arc orienté de P vers T, possèdent une marque et parmi toutes ces places validées, une au hasard sera effectivement déclenchée, franchir une transition revient donc à enlever une marque sur chaque place d'entrée et à en ajouter une sur chaque place de sortie. [8] (Figure 53).

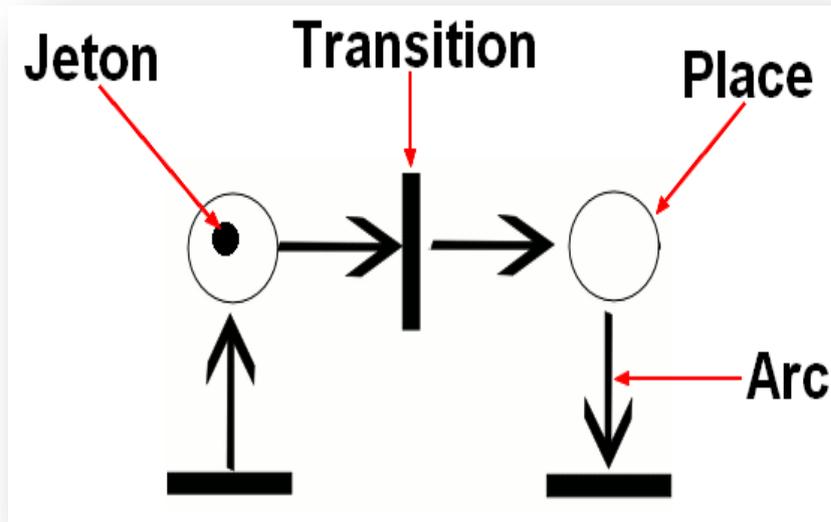


Figure 53 : Exemple d'un réseau de pétri

Les concepts de base : [16]

La figure présente tous les éléments de bases des réseaux de Pétri. Intuitivement :

Le nombre de jetons dans chaque place indique l'état de la variable associée à la place considérée.

1.3.1 Réseaux de Pétri colorés et la plate-forme CPN-Tools : [8]

Lorsque le nombre d'entités du système à modéliser est important, la taille du réseau de Pétri devient rapidement énorme ; et si les entités présentent des comportements similaires. L'utilisation des réseaux de pétri colorés qui permettent en fait de condenser le modèle initial. Les réseaux de Pétri colorés sont des réseaux de Pétri dans les quels les jetons portent des couleurs, sachant qu'une couleur est une information supplémentaire rattachée à un jeton et qui permet de distinguer les jetons entre eux et peut être de type quelconque. Ainsi les arcs ne sont pas seulement étiquetés par le nombre de jetons mais aussi par leurs couleurs. Le franchissement d'une transition est alors conditionné par la présence dans les places en entrée du nombre de jetons nécessaires, qui en plus satisfont les couleurs qui étiquettent les arcs.

Après le franchissement d'une transition, les jetons qui étiquettent les arcs d'entrée sont retirés des places en entrée tandis que ceux qui étiquettent les arcs de sortie sont ajoutés aux places en sortie de cette transition. Les réseaux colorés n'apportent pas de puissance de description supplémentaire par rapport aux réseaux de Pétri, ils permettent juste une condensation de l'information. A tout réseau de Pétri coloré marqué correspond un réseau de Pétri qui lui est isomorphe.

La modélisation de la coopération entre produits actifs a été réalisée suivant un modèle hiérarchique de réseau de Pétri coloré en utilisant l'outil de modélisation CPN Tools. C'est un outil de modélisation pour le formalisme des réseaux de Pétri colorés. Il permet d'éditer des réseaux, de vérifier la syntaxe et la cohérence (en pas à pas ou automatiquement avec pour critère d'arrêt une date ou un nombre de tirs de transitions). [18]

1.3.2 Les avantages des réseaux de Pétri :

L'avantage des réseaux de Pétri est d'une part de se baser sur des fondations mathématiques fortes, et d'autre part de prendre en compte la concurrence. De plus un grand nombre de logiciels permettent de simuler et d'analyser les Réseaux de Pétri. Les différents outils conviviaux sont souvent dédiés à des extensions temporelles des réseaux de Pétri. [17]

Ayant défini les SMA comme étant une méthode que nous adoptons pour modéliser, simuler et résoudre le problème de stockage de conteneurs, et les réseaux de Pétri colorés comme étant une méthode formelle pour décrire la dynamique globale de modèle : COSAH (Méthode permet de simuler, résoudre et optimiser l'espace de stockage disponible pour manier les départs et les arrivées des conteneurs dans un port fluvial ou maritime. Autrement dit, permet de minimiser le nombre total de mouvements parasites tout en respectant des contraintes dynamiques d'espace et de temps).

Nous allons définir dans la section suivante et dernière de ce chapitre le deuxième concept clé de notre démarche de résolution : l'optimisation heuristique que nous adoptons pour optimiser le problème sous-jacent. [8]

1.4 L'optimisation heuristique :

Les heuristiques sont des méthodes empiriques basées sur des règles simplifiées pour optimiser un ou plusieurs critères. Le principe général de ces méthodes est d'intégrer des stratégies de décision pour construire une solution proche de l'optimum, tout en essayant de l'obtenir en un temps de calcul raisonnable. [20]

Pourquoi utilisons-nous des théories d'Optimisation heuristique ?

Dans de nombreux cas, la détermination d'une solution exacte prend trop de temps de calcul pour qu'il soit raisonnable de chercher une telle solution. De même, la difficulté ou l'intérêt scientifique réduit du problème (de part sa complexité pratique, sa structure difficile,...) ou bien sa réalité pratique (trop de données, taille énorme des instances,...) peut demander de trouver rapidement un algorithme efficace pour déterminer simplement une bonne solution et non la meilleure.

La notion de bonne solution n'est pas théorique et repose plus sur le fait qu'on sait produire une solution non triviale et de valeur supérieure à celle qu'un cerveau humain pourrait construire.

On se contente alors souvent d'une solution approchée, en essayant de faire en sorte qu'elle soit la meilleure possible dans un temps acceptable. Malheureusement ce compromis est souvent impossible à évaluer numériquement a priori. Si on sait évaluer la qualité de la solution déterminée de manière théorique, on parle d'algorithme d'approximation qui n'est pas évoqués dans ce support de cours. Si cette évaluation ne peut se faire qu'expérimentalement ou alors par un évaluateur humain, on parle alors d'heuristiques combinatoires. [19]

Un algorithme approché (algorithme de recherche informée) met en œuvre des heuristiques. Une heuristique peut avoir deux sens :

- Moyen (pas sûr) de choisir entre plusieurs alternatives
- Sous certaines conditions, on peut être sûr de l'alternative choisie. [8]

1.4.1 Catégories des heuristiques : [8]

Les heuristiques peuvent se classer en trois catégories :

- Les heuristiques constructives gloutonnes se contentent de construire pas à pas une seule solution. Elles se caractérisent par une grande rapidité mais leur performance est souvent décevante.
- Les heuristiques de recherche locale (ou de recherche d'un optimum local) travaillent quant à elles sur une solution qu'elles tentent d'améliorer itérativement. Lors d'une itération, la solution courante est légèrement modifiée afin d'obtenir une solution voisine. Ces algorithmes obtiennent en général des résultats meilleurs que les procédures constructives, mais n'ont pas toujours une grande capacité à explorer des régions très différentes de l'espace des solutions.
- Les heuristiques évolutionnaires agissent sur une population d'individus (des solutions ou des morceaux de solutions) qui coopèrent et s'adaptent individuellement. Elles ont la plupart du temps un fort potentiel pour trouver des solutions très différentes lors de leur application, mais manquent souvent d'agressivité, car malgré la diversité des solutions rencontrées, celles-ci ne sont pas toujours de grande qualité. De plus, elles nécessitent souvent un ajustement long et fastidieux de nombreux paramètres avant d'obtenir des résultats intéressants.

1.4.2 Classes d'heuristiques :

- **Heuristiques constructives gloutonnes : [8]**

Le fonctionnement d'une heuristique constructive gloutonne est similaire à celui d'un algorithme glouton exact. La différence réside dans le fait qu'on n'impose plus que la solution obtenue soit optimale. Il existe de nombreuses heuristiques gloutonnes dédiées à des problèmes classiques : le problème du monde des cubes, le problème de coloriage de graphes, le problème d'affectation, le problème de sac à dos, etc., dont certaines donnent de bons résultats et sont très utilisées. Cette classe d'heuristiques construit une solution progressivement sans remettre en cause les choix effectués à chaque itération. Ces choix sont les plus intéressants relativement à un critère donné appelé critère glouton.

- **Les métas heuristiques : [12]**

Parmi les métas heuristiques les plus connues, on peut citer les algorithmes évolutionnistes comme : les stratégies d'évolution, les algorithmes génétiques, les algorithmes à évolution différentielle, les algorithmes à estimation de distribution, les systèmes immunitaires artificiels, la recombinaison de chemin, le recuit simulé, les algorithmes de colonies de fourmis, les algorithmes d'optimisation par essais particuliers, la recherche avec tabou et la méthode GRASP. Il existe aussi plusieurs métas heuristiques, plus ou moins connues, tels que, l'algorithme du kangourou, la méthode de Fletcher et Powell, la méthode du bruitage, l'escalade de collines à recommencements aléatoires et la méthode de l'entropie croisée.

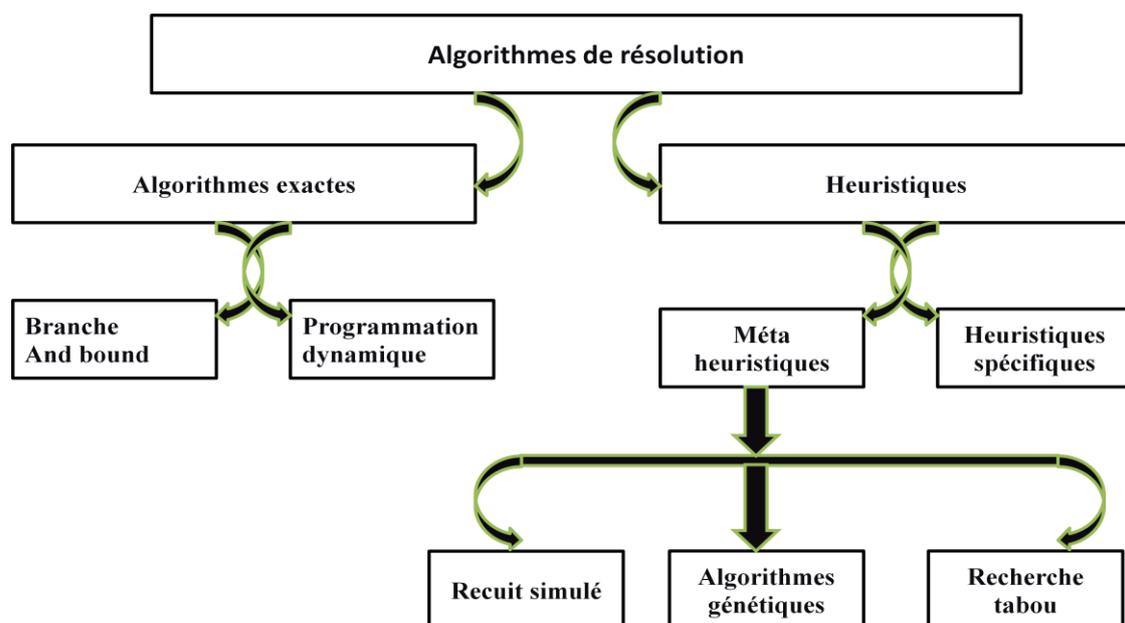


Figure 54 : Classification des méthodes d'optimisation

La recherche dans ce domaine est très active, il est impossible de définir une liste exhaustive des différents méta heuristiques d'optimisation. La littérature montre un grand nombre de variantes entre méthodes, particulièrement dans le cas des algorithmes évolutionnaires.

1.5 Choix de l'approche de résolution : [12]

La simulation est le meilleur outil utilisé pour représenter n'importe quel système du monde réel. Elle est souvent utilisée pour l'analyse des systèmes complexes. La plupart des modèles de simulation sont basés sur la simulation à événements. Ce type de simulation permet de dépasser les limites des approches mathématiques d'optimisation et d'aider à répondre à la question « what if ...? ».

La simulation permet de décrire le fonctionnement d'un système sans pour autant générer une solution optimale. Par contre, l'optimisation fournit une solution optimale sans décrire totalement le fonctionnement du système.

1.6 Conclusion :

Nous avons présenté des approches de résolution courantes pour les problèmes des terminaux à conteneurs (PSC). Chaque approche a une vision différente. Il s'agit des approches : par Systèmes Multi-agent, simulation, réseaux de PETRI ainsi que l'optimisation heuristique.

Dans le chapitre suivant nous allons-nous concentrer sur l'application des méthodes plus proches pour résoudre notre problème (Stockage de conteneur à l'E.P.G).

Chapitre II

**Modélisation et résolution du
problème de stockage de
conteneurs PSC**

Chapitre II

Modélisation et résolution du problème de stockage de conteneurs PSC.

2.1 Introduction :

L'objectif que nous nous étions fixés et annoncé au début de ce mémoire est la résolution et l'optimisation du Problème de Stockage de Conteneurs-PSC dans le port de Ghazaouet.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord notre première contribution (la Gestion) à travers laquelle nous avons cherché à exploiter la forte analogie entre les trois niveaux de décision (stratégique, tactique et opérationnelle). Ensuite, nous présentons notre deuxième contribution (L'optimisation) : un modèle reposant sur une méthode d'optimisation heuristique d'une version étendue du PSC.

En suite, nous allons faire un modèle qui pourra réduire la complexité de système de transport interne et stockage des conteneurs puisqu'il représente les deux opérations de chargement et de déchargement.

Enfin, nous essayons de réaliser un modèle de stockage de conteneurs adapté aux contraintes existants au port de Ghazaouet.

2.2 La Gestion des stocks :

La gestion des stocks absorbe beaucoup de temps administratifs, elle coûte cher et immobilise de gros moyens de trésorerie. Elle doit donc être sélective et les moyens doivent être consacrés en priorité aux articles coûteux et importants.

L'objectif de la gestion des stocks est de réduire les coûts de possession (stockage, gardiennage, ...) et de passation des commandes, tout en conservant le niveau de stock nécessaire pour éviter toute rupture de stock, pouvant entraîner une perte d'exploitation préjudiciable. Pour cela l'entreprise doit définir des indicateurs précis (Stock de sécurité, Stock d'alerte, Stock minimum, Stock maximum), et contrôler le mieux possible les mouvements de stocks et leur état réel.

- **Les documents de gestion des stocks :**

Pour un bon suivi des mouvements de stocks, l'entreprise utilise des documents plus ou moins normalisés :

- a) **Bon de livraison** : (ou de **réception** ou **d'entrée**) des matières, marchandises, produits, où l'on enregistre par type d'élément, les caractéristiques, la date d'entrée en stock, les quantités et prix unitaires de chaque élément.
- b) **Bon de sortie** : (ou **d'enlèvement** ou de **matière**) : date, caractéristiques, quantités, prix unitaires.

2.3 Adaptation d'une stratégie de gestion selon les trois niveaux de planification :

Nous avons utilisé le mot terminal (général et connue plus), le but essentiel de cette méthode est d'avoir un système d'aide à la décision.

2.3.A La planification stratégique :

La planification stratégique d'un terminal maritime de conteneurs concerne les décisions qui portent sur le design du terminal. Ces décisions concernent principalement le type d'équipements utilisés et la disposition du terminal. Il est important de spécifier que ces décisions sont caractérisées par un arbitrage entre le niveau de service offert aux clients et le niveau d'investissement pour le développement du terminal. Un accroissement de la capacité du terminal nécessite des investissements majeurs dus aux coûts importants de la construction du terminal et de l'acquisition des équipements de manutention. Le niveau de service d'un terminal dépend de la disponibilité des quais et de la capacité de celui-ci à offrir des opérations de déchargement et de chargement rapides.

- Localisation :

La première décision stratégique liée à la planification et à la gestion est l'emplacement du terminal (terrain de conteneurs à Ghazaouet). L'objectif de ce problème est de déterminer l'emplacement de dépôts intermédiaires de conteneurs afin de minimiser les mouvements de conteneurs vides.

- Nombre de quais : (et postes)

La décision suivante au niveau du design d'un terminal maritime de conteneurs consiste à déterminer le nombre de quais qui sera mis à la disposition des porte-conteneurs, l'objectif de cette étape est de déterminer un nombre de quais optimal.

Il est entendu par optimal que le design choisi permettra un équilibre entre le niveau de service aux porte-conteneurs, les coûts de construction et d'exploitation du terminal et la capacité d'adaptation aux variations de volume. En effet, une augmentation du nombre de

quais nécessite plus d'équipement pour les opérations de transport et d'entreposage des conteneurs, donc, plus de circulation dans le terminal.

Quand un navire arrive au port, il doit amarrer en une des postes de quai disponibles. Le nombre des postes de quai qui devraient être disponibles est parmi les décisions qui devraient être faites au niveau stratégique.

- Nombre de grues de quai :

Le nombre de grue de quai est étroitement lié au nombre de quais, puisqu'un quai supplémentaire à une utilité restreinte s'il n'est pas équipé pour recevoir les navires.

L'objectif du problème du nombre de grues de quais est de déterminer un nombre de grues qui permettra d'offrir un niveau de service élevé aux navires qui fréquentent le terminal tout en minimisant les investissements liés à l'acquisition de l'équipement. Comme dans le cas du nombre de quais à construire, le nombre de grues de quai doit permettre au terminal d'être en mesure d'absorber les variations futures du volume de conteneurs manutentionnés.

De plus, la décision doit tenir compte du fait que la productivité du quai augmente avec le nombre de grues installées, mais à un taux décroissant puisque le risque d'interférence entre les grues augmentent. Le nombre de grues de quai à installer sur un terminal constitue une décision importante puisqu'elles représentent l'équipement le plus dispendieux sur le terminal.

- Système de transport interne du terminal et design de la cour du terminal :
(c'est le cas étudié dans ce mémoire)

Le choix du système de transport interne est une décision critique dans le design de ce dernier. Deux facteurs de décisions pour le choix de ces équipements :

- 1) Les restrictions d'espace :

S'avère particulièrement important dans les régions où l'espace est restreint. Par exemple, les principaux ports d'Asie (Hong Kong, Singapour, Busan, Kobe et Kaohsiung) utilisent une organisation des conteneurs en blocs avec des ponts roulants sur pneumatique puisque cette stratégie permet une forte densité de conteneurs.

- 2) Facteurs historiques et économiques :

Au niveau économique, ces décisions peuvent être justifiées par des coûts de main d'œuvre élevés. Les facteurs de décision historiques lient les décisions présentes aux décisions passées, puisqu'un changement majeur au système de transport interne entraîne des investissements importants et une réorganisation des processus du terminal.

L'objectif du choix du système de transport interne du terminal est de déterminer une organisation des opérations de transport qui permettra de minimiser les coûts d'opérations

du terminal et de maximiser le niveau de service aux grues de quai. Par maximisation du service aux grues de quai, il est entendu que l'objectif est de minimiser les temps morts.

En effet, un arrêt d'une grue a un impact direct sur le temps à quai du navire, donc sur le service à la clientèle, qui cherche à minimiser son séjour dans le port. Ces deux objectifs sont en quelque sorte contradictoire, puisque la probabilité d'arrêt de la grue diminue lorsque le nombre de véhicules de transport augmente, ce qui, par le fait même, fait augmenter les coûts totaux d'acquisition du système.

Quant au problème du design de la cour du terminal, l'objectif est de déterminer une organisation de la cour qui permet de minimiser les coûts d'acquisition, tout en minimisant les possibilités de remaniements de conteneurs. Comme dans le cas précédent, ces deux objectifs sont contradictoires. En effet, afin de minimiser le nombre de remaniements possibles, la hauteur des piles doit être minimisée. Par contre, la minimisation de la hauteur des piles nécessite une plus grande surface d'entreposage dans la cour, ce qui fait augmenter le coût d'acquisition du terrain. La simulation peut être utilisée comme outil de conception et d'évaluation pour le design du système de transport interne.

Il a été choisi de présenter ces deux problèmes simultanément, puisque ces décisions sont liées. En effet le choix du système de transport aura nécessairement un impact sur le design de la cour, puisque selon le système choisi les piles de conteneurs seront plus ou moins denses.

- Degré d'automatisation des opérations :

La décision sur le degré d'automatisation des opérations d'un terminal maritime de conteneurs a pour objectif de déterminer le niveau d'automatisation adéquat d'un terminal. L'automatisation des opérations nécessite un volume de conteneurs important, puisque les coûts d'acquisition des équipements automatisés sont très élevés, d'où l'importance d'un volume important afin de les rentabiliser. C'est pourquoi le niveau d'automatisation des opérations souhaitable varie selon les terminaux.

2.3.B La planification tactique :

Au niveau tactique, les décisions concernent l'organisation des opérations du terminal de façon générale. Plus précisément, la planification tactique vise à déterminer quels équipements seront alloués à quel ensemble de tâches qui doivent être complétés, donc l'allocation de la capacité du terminal. L'horizon de planification de ces décisions couvre des périodes allant de quelques jours à quelques mois.

- L'allocation de quais aux navires :

A l'arrivée du navire, un quai (espace où sera amarré le navire) doit lui être assigné. Ainsi, la décision doit tenir compte non seulement de l'espace disponible à l'arrivée du navire, mais aussi des besoins futurs en quais pour les navires arrivant prochainement. C'est pourquoi la planification doit être faite pour une période suffisamment longue pour éviter une file d'attente, le temps à quai étant une période sans génération de revenus pour les armateurs.

L'objectif du problème d'allocation de quais est de déterminer un horaire d'affectation des navires aux quais qui permet de diminuer le temps total d'exécution des opérations. Pour ce faire, plusieurs facteurs doivent être considérés. Tout d'abord, la disponibilité des quais et les caractéristiques de ceux-ci et des navires. En effet, le plan d'allocation choisi doit éviter qu'il y ait des interférences entre les navires et il doit respecter les contraintes liées à la taille et au tirant d'eau des navires, afin d'éviter l'allocation d'un navire à un quai ne peut pas le recevoir. Ensuite, l'emplacement des conteneurs sur le terminal doit être considéré. Plus les conteneurs sont situés loin du navire, plus les risques de délais des opérations augmentent. De plus, une grande distance entre le navire et la pile de conteneurs peut entraîner la nécessité d'ajouter des véhicules de transport interne, afin d'éviter les délais, ce qui fait augmenter les coûts d'opérations et les risques de problèmes de congestion du terminal.

- L'allocation de grues de quai aux navires :

La construction d'un horaire de travail des grues de quai consiste à déterminer quelle grue travaillera sur quel navire et sur quelle partie du navire en particulier. Donc, l'horaire de travail d'une grue indique la séquence de navires travaillés, l'ordre dans lequel les cales seront servies ainsi que la quantité et le type d'opérations à effectuer.

Les intrants du processus de création d'un horaire pour les grues de quai sont le plan de chargement du navire, la disponibilité des grues et un plan qui indique la position sur le terminal des conteneurs à charger sur le navire.

Le problème d'allocation de grues de quai aux navires vise à déterminer une séquence de travail des cales des navires qui permet de minimiser le temps d'opération total sur le navire. La réalisation de ce plan de travail doit tenir compte du nombre de conteneurs à manutentionner, de la position des conteneurs, de l'impossibilité des grues de se croiser et des possibilités d'interférence entre les grues. En effet, la taille des grues de quais nécessite de laisser une cale libre entre les grues afin d'éviter un contact au cours des opérations. De plus, la séquence d'opérations doit tenir compte du nombre de conteneurs par cales. Cette considération est nécessaire afin d'éviter qu'une grue termine les opérations d'une cale

et qu'une autre grue crée de l'interférence avec la cale suivante qui a été affectée à la première grue.

- Planification du chargement :

La planification du chargement consiste à positionner les conteneurs sur le navire. En générale, une route de navire est constituée de plusieurs arrêts dans différents ports et à chacun de ces arrêts des conteneurs sont déchargés du navire et d'autres sont chargés. La planification du chargement consiste à répartir les conteneurs de ces différents arrêts dans les diverses cales du navire.

Le problème de la planification du chargement d'un navire vise à développer un plan de chargement qui minimise le nombre de manutentions improductives. Ces manutentions se produisent lorsqu'un conteneur, qui doit être déchargé, se retrouve sous un conteneur qui doit être déchargé au port suivant. Par contre, le plan de chargement doit tenir compte de plusieurs facteurs.

Tout d'abord, on retrouve les contraintes de stabilité du navire. En effet, le chargement du navire doit être réparti de manière à ce que la stabilité du navire ne soit pas compromise. L'impact sur le plan de chargement est qu'il peut s'avérer nécessaire de mélanger les destinations dans une même cale afin de respecter ces contraintes. Les contraintes de stabilité sont étroitement liées aux caractéristiques des conteneurs. La principale caractéristique à considérer est le poids des conteneurs. En effet, les conteneurs doivent être chargés sur le navire de façon à ce que les plus pesants soient au fond du navire et les moins pesants sur le dessus. Cet ordre est nécessaire afin de stabiliser le navire, ainsi que dans le but d'éviter qu'un conteneur lourd écrase un conteneur léger ou vide. De plus, le plan de chargement doit tenir compte des contraintes qu'imposent les conteneurs réfrigérés et les conteneurs de matières dangereuses. Les premiers doivent être chargés près d'une source de courant électrique, tandis que les seconds sont restreints à certaines cales. Le problème de la planification du chargement est aussi lié au problème d'allocation de grues de quai aux navires, puisque le plan doit tenir compte des possibilités d'interférences entre les grues lors des opérations sur les navires aux différents ports de la route de celui-ci.

- Transport interne :

Les décisions stratégiques pour le transport interne du terminal portaient sur le type d'équipement et d'organisation de la cour. Une fois ce choix fait, la planification tactique consiste à déterminer le nombre de véhicules qui seront utilisés pour le transport des conteneurs entre le navire et la pile. En effet, elle consiste à déterminer le nombre de

véhicules de manière à assurer un déroulement des opérations efficient. Les informations nécessaires à cette prise de décision sont le nombre de transport qui doivent être effectués, les temps de manutention des conteneurs et les temps de transport des véhicules.

L'objectif du problème de gestion de la flotte de transport interne consiste à minimiser le nombre de véhicules qui seront nécessaires aux opérations de transport entre le navire et la pile. La détermination du nombre de véhicules est sujette à un compromis entre la minimisation des coûts de transport des conteneurs entre les piles et les grues et le niveau de service aux grues. En effet, une augmentation du nombre de véhicules a pour conséquence de diminuer les risques de délais aux grues de quai dus à l'absence de véhicules, mais entraîne une augmentation des coûts, tandis qu'une diminution du nombre de véhicules utilisés aura l'effet contraire.

- Planification de l'entreposage :

La planification de l'entreposage concerne l'ensemble des stratégies et méthodes qui peuvent être utilisées pour déterminer de quelle façon les conteneurs seront triés dans les diverses piles à l'intérieur du terminal. De plus, la gestion des piles vise aussi à minimiser les mouvements inutiles dans la manutention des conteneurs.

Chen (Un professionnel de domaine) propose une étude qualitative qui compare deux stratégies de gestion de l'espace et des mouvements dans un terminal. La première stratégie consiste à mettre les conteneurs reçus pour l'exploitation dans une zone temporaire, jusqu' à la réception du plan de chargement de la ligne maritime. Une fois la liste reçue, les conteneurs sont triés selon le navire, le type de conteneur, la destination et le poids. Par contre, le remaniement des conteneurs avant l'arrivée du navire impose une charge de travail importante, qui risque de congestionner le terminal. La seconde stratégie est semblable à la première, mais le trie des conteneurs s'effectue à la réception. Le principal avantage de cette méthode est qu'elle diminue la quantité de remaniement avant l'arrivés du navire. Ces manutentions peuvent être effectuées durant les périodes de baisse d'activités du terminal, donc cette stratégie diminue les risques de congestion à l'intérieur du terminal. Cependant, cette stratégie nécessite un espace important afin de trier les conteneurs dans les différentes piles, espace qui se fait de plus en plus rare dans la majorité des terminaux.

Au niveau de l'importation, la séparation des conteneurs du nouveau navire de ceux déchargés des navires précédents et la hauteur des piles sont deux facteurs importants à considérer au moment de triage des conteneurs.

2.3.C La planification opérationnelle :

Au niveau tactique, la capacité a été allouée aux tâches à effectuer de façon générale. L'étape suivante, la planification opérationnelle, vise la répartition de cette capacité aux différentes tâches afin qu'elles soient réalisées. Ces décisions relèvent tous de l'opérateur, puisqu'elles concernent l'organisation de ses activités.

- Ordonnancement des opérations de déchargement et de chargement :

L'ordonnancement des opérations de déchargement et de chargement consiste à déterminer l'ordre dans lequel les conteneurs seront déchargés, dans le premier cas, et chargés, dans le second cas. L'objectif du problème d'ordonnancement des opérations de déchargement et de chargement est de déterminer la séquence d'opérations qui permettra de minimiser le temps à quai du navire.

La majorité de la recherche s'est concentrée sur le problème de l'ordonnancement des opérations de chargement, puisque c'est celui-ci qui a le plus grand impact sur les coûts de manutention des conteneurs et sur le temps à quai du navire.

- Transport entre le quai et les piles :

La planification des activités de transport entre le quai et les piles, au niveau opérationnel, consiste à déterminer quelle stratégie sera utilisée pour affecter les véhicules aux tâches de transport. Il existe deux stratégies, soit : l'affectation d'un groupe de véhicules à une grue ou la mise en commun des véhicules qui peuvent ainsi servir toutes les grues sur tous les navires. L'avantage de la seconde est qu'elle permet une meilleure utilisation des véhicules puisqu'elle diminue le nombre de déplacements sans chargement. Par contre, la coordination des véhicules et des grues est beaucoup plus complexe, puisqu'elle doit être effectuée en temps réel, il est donc impossible d'avoir un plan d'affectation pré établie. C'est pourquoi en pratique la mise en commun des véhicules est seulement utilisée dans les terminaux qui utilisent des véhicules de transport automatisés, tandis que les autres terminaux appliquent une stratégie de véhicules dédiés, qu'il s'agisse de camions ou de chariots cavaliers.

L'objectif du problème de transport entre le quai et les piles au niveau opérationnel est de minimiser les temps de transport à vide.

Dans le cadre des opérations de chargement, les transports à vide se produisent généralement lorsqu'un conteneur a été livré à la grue et que le véhicule de transport interne doit retourner à la pile pour reprendre un conteneur. Lors des opérations de chargement, la situation est

renversée. La mise en commun des véhicules de transport interne permet de minimiser les transports à vide en affectant à une tâche de transport du quai à la pile à un véhicule qui termine une tâche de transport de la pile au quai. Le transport à vide est limité à la distance entre les deux navires. Le problème est donc caractérisé par un arbitrage entre les distances parcourues à vide par les véhicules de transport interne et la complexité de gestion des opérations.

- Déploiement des équipements de manutention de la cour :

Les problèmes de gestion de l'équipement sont cruciaux pour les ports algériens, due aux sommes d'argent importantes investies dans ces équipements. C'est pourquoi les responsables cherchent à optimiser l'utilisation de ces équipements pour en tirer la meilleure utilisation possible.

Le problème de déploiement des équipements de manutentions de la cour vise à minimiser le temps total d'opérations de ces équipements. Le temps d'opérations est aussi dépendant des temps des mises en routes nécessaires à une séquence d'opérations. Un temps de mise en route survient lorsque l'équipement doit se déplacer d'une tâche à l'autre. Par exemple, lorsqu'un STACKER doit changer une zone d'entreposage de conteneurs. De plus, le temps total dépend aussi du nombre de remaniement de conteneurs qui devront être effectués au cours de la séquence d'opérations, puisque ces remaniements prolongent le temps d'extraction d'un conteneur de la pile.

Il existe aussi un lien entre le nombre de remaniement et les temps de mise en route des équipements. En effet, si le déploiement des équipements est fait en considérant seulement Les temps de mise en route, la séquence risque de comporter plusieurs remaniements pour extraire l'ensemble des conteneurs d'un bloc avant d'effectuer un déplacement vers un autre bloc.

- Ordonnancement de l'entreposage :

L'objectif du problème d'ordonnancement de l'entreposage est d'affecter une position aux conteneurs dans la zone de stockage du terminal de manière à minimiser les remaniements de conteneurs lors des opérations de chargement. Bien que ces remaniements puissent se faire avant l'arrivée du navire, le problème demeure le même, puisque ces remaniements occupent le temps d'équipements qui pourraient être affectés à d'autres tâches plus productives.

Le remaniement consiste à placer les conteneurs en ordre de chargement dans les piles, afin d'éviter les pertes de temps durant le chargement. Les auteurs cherchent à minimiser le nombre de conteneurs à manutentionner. Pour ce fait, le problème est décomposé en trois

sous-problèmes : l'allocation de travées, la détermination des manutentions à effectuer et l'ordonnancement des tâches. Les deux premiers sont résolus simultanément en utilisant la programmation dynamique et l'algorithme du problème de transport. Ensuite, le troisième est défini comme un problème du voyageur de commerce avec contrainte de précédence sous forme de contrainte à satisfaire. En conclusion, les auteurs constatent que la résolution du problème est longue et que des méthodes heuristiques plus efficaces doivent être développées afin d'en accélérer la résolution.

2.4 La modélisation du système de transport et stockage des conteneurs :

La première étape du processus de déchargement pour notre modèle est la prise du conteneur par la grue de quai, une fois le conteneur saisi, la grue le transporte de la cale du navire au quai où il est déposé sur un véhicule de transport interne (camions). Pendant le transfert, un pointeur saisi le numéro de conteneur, Ainsi, le numéro du conteneur est transmis au système d'opération (service marchandises) qui associe le conteneur aux informations qui le concerne. Ensuite un agent indique la direction et la position assignée à l'opérateur du camion (quatre chemins sont proposés dans le modèle).

Si le conteneur n'a pas été inspecté, il est transporté jusqu'à la zone prévue (ou la pile), où un STACKER décharge le camion et dépose le conteneur dans la pile. Une fois qu'il est déposé dans la pile, un vérificateur saisit le numéro du conteneur et valide ou corrige la position de celui-ci. Le conteneur restera dans la pile jusqu'à ce qu'un autre processus débute et qu'il soit nécessaire de manutentionner le conteneur.

Par contre, si le conteneur nécessite une inspection, le processus sera différent. Suite au déchargement du conteneur du navire, le camion le transporte jusqu'à la zone d'inspection des douanes. Une fois rendu, le camion est déchargé et le conteneur est déposé sur le sol. Ensuite deux types d'inspection peuvent être effectués : non intrusives et intrusives.

Dans le premier cas, trois zones sont proposées pour stocker les conteneurs, la première supporte des conteneurs de 40' et 45' (soit standards ou High Cube) et l'empilement vertical, la deuxième est divisée en deux parties (Produits Dangereux avec l'empilement horizontal et conteneur 40', 45' standards ou High Cube où l'empilement est vertical);

Une dernière zone pour les 20' avec un empilement vertical et les frigos seront de même façon qu'elle existe. Nous avons proposés un stockage sur deux rangés et trois niveaux dans ce model pour que le STACKER peut manipuler bien et sans fautes (mouvements improductifs).

Dans le deuxième cas (chargement ou embarquement des conteneurs), la zone des conteneurs vides est la même, une zone finale pour le stockage des conteneurs après visite (et pesage), de plus nous avons créé une petite guérite pour les camions.

Pour l'équipement utilisable on veut ajouter trois camions pour le transport interne, et nous voulons exploiter les quatre STACKER (trois SRACKERS sont affectés aux trois zones mentionnés au départ, et le quatrième fonctionné entre les zones de visites et la zone après visite).

En ce qui concerne le transport interne, chaque camion doit revenir rapidement (autre chemins de transfert peut être), donc trois positions de camion sont proposés au model, avec la grue, dans une zone de stockage, et à la guérite.

- Processus de réception de conteneurs vides et d'export par camions :

Le processus de réception par camion est précédé par le processus d'identification des chauffeurs. Une fois celui-ci complété, le camion se présente à la guérite et le processus de réception commence. Ensuite, le reçu de terminal est vérifié. S'il est valide, l'accès est accordé, s'il ne l'est pas, l'accès est refusé et le processus prend fin. Lorsque l'accès est valide, la prochaine étape du processus est le déplacement du camion jusqu'à location assignée au conteneur. Le camion est ensuite déchargé par un STACKER et le conteneur est déposé dans le bloc. Un agent saisit le numéro du conteneur et valide ou corrige la position de celui-ci.

Dans le cas actuel la société CMA-CGM (entreprise de transport maritime) est le premier responsable de transport de conteneurs vides, le transport se fait entre le port (engins et équipements) et le port sec de Sidi Amar (zone de stockage de conteneurs vides) à Ghazaouet.

- La figure suivante peut nous idées à bien comprendre le fonctionnement logique proposer dans notre model :

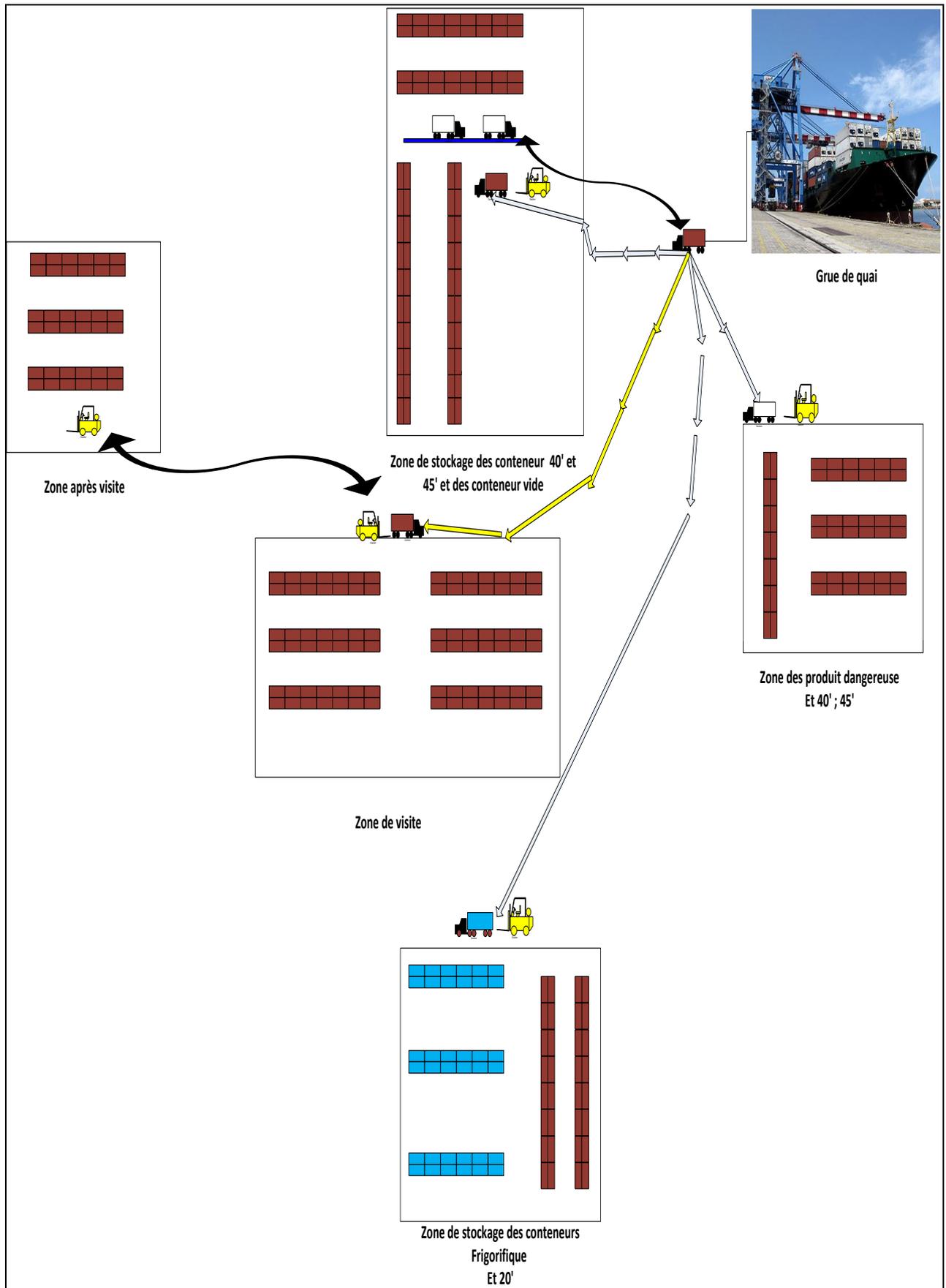


Figure 55 : Model de stockage de conteneurs proposé pour l'EPG

- Une illustration de la logique de déchargement des 20' selon le model proposé :

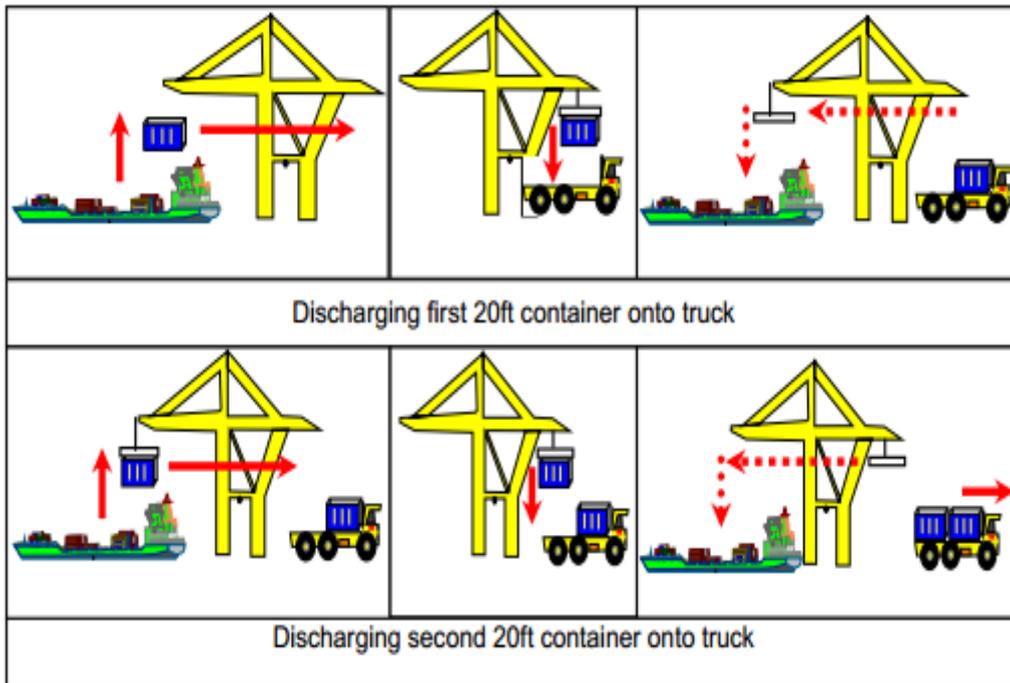


Figure 56 : Processus de déchargement des 20'

- Pour les modes d'équipement proposés selon le model de stockage, on a deux types de STACKAR, Spreader et élévateur :



Figure 57 : L'équipement STACKER Spreader et élévateur

2.5 La résolution du PSC par l'utilisation d'un algorithme génétique appliqué sur le programme Java :

2.5.A Algorithme génétique :

L'algorithme génétique que nous proposons pour la résolution du problème de stockage de conteneurs comprend principalement quatre étapes qui sont : la création d'une population initiale, la sélection d'une partie de cette population, l'application de croisements entre les individus sélectionnés, et la mutation d'un individu. Il est représenté par la figure suivante.

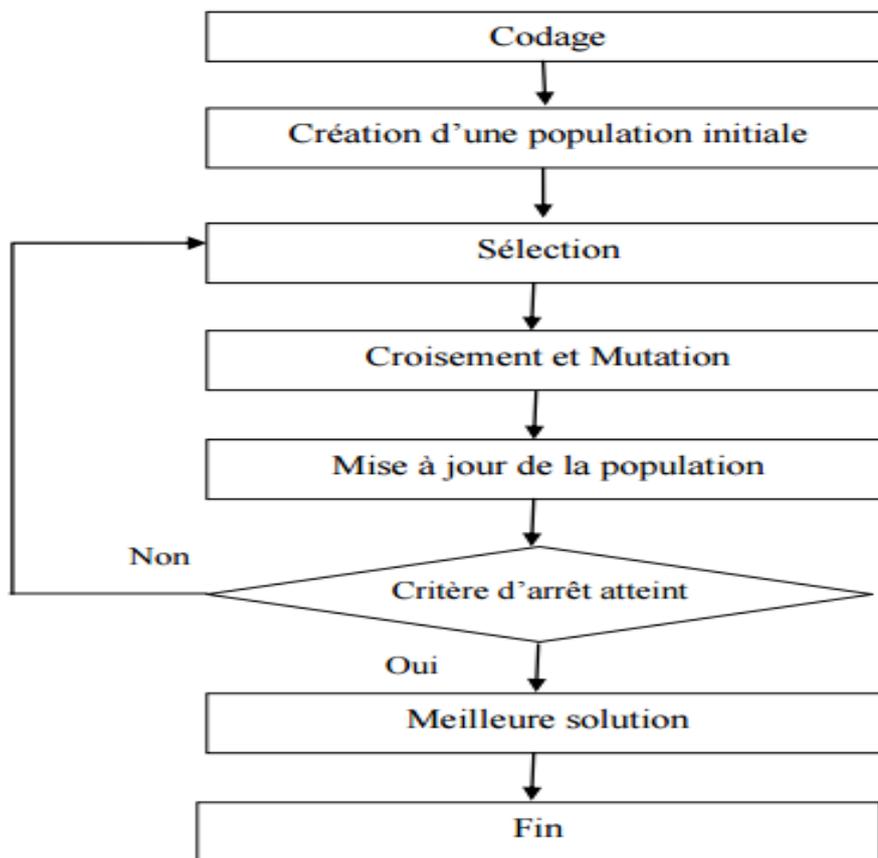


Figure 58 : Le principe des algorithmes génétiques.

- **Création de la population initiale :**

Dans notre algorithme génétique, chaque individu de la population est une solution valide du problème de stockage de conteneurs. Par conséquent, nous représentons chaque individu sous forme d'un tableau qui a deux lignes et dont le nombre de colonnes est égal au nombre de conteneurs à stocker. Les conteneurs sont notés dans la première ligne alors que les baies sont notées dans la deuxième ligne (Figure 59). Les individus de la population initiale sont créés un par un. Le pseudo-code qui suit montre comment fonctionne la procédure de création d'un individu.

Conteneur	1	2	3	5	12	6	7	9	8	10	11	13	4	14
baies	3	3	3	1	1	1	2	2	4	4	4	5	5	6

Figure 59 : Représentation d'une solution

1. $a = 1$ (conteneur N° : 01)
2. $S = (s_{i,j})$ $1 \leq i \leq 2$, $1 \leq j \leq N$ (c'est la solution en cours de création)
3. Tant que ($a \leq N$) faire (N : nombre total de conteneurs)
 - 3.a Choisir aléatoirement un conteneur k qui n'est pas encore traité
 - 3.b Choisir aléatoirement une pile p qui n'est pas pleine, qui a la même taille que k , et qui respecte les contraintes d'ordre d'arrivée et de départ, c'est-à-dire qui ne contient pas de conteneur k' qui est tel que $k' > k$ ou $Tk' < Tk$ (TK : date de départ de conteneur)
 - 3.c $s_{1,a} = k$, et $s_{2,a} = B$
 - 3.d $a = a + 1$
4. Fin tant que

- **Méthodes de sélection :**

La sélection est la première phase de renouvellement d'une population. Comme son nom l'indique, elle permet de sélectionner les individus qui vont donner naissance à la descendance d'une génération. Ils existent différentes méthodes de sélection, nous allons appliquer à notre algorithme génétique la méthode élitiste.

- La méthode élitiste :

Elle sélectionne les meilleurs individus en se basant sur leurs fitness. L'avantage de cette méthode est le fait qu'elle permet de ne pas perdre les meilleurs individus au cours des générations, mais cela augmente aussi le risque d'une convergence prématurée vers un optimum local.

- **Méthode de croisement**

Dans un algorithme génétique, l'opération croisement sert à créer de nouveaux individus (appelés enfants), en combinant des parties de d'autres individus (appelés parents). Ils existent différentes méthodes de croisement. Cependant, nous utilisons la méthode de croisement en un point, car le croisement en deux points ainsi que les autres méthodes nécessitent plus de corrections qui sont en rapport avec les contraintes de positionnement des conteneurs suivant l'ordre croissant de leurs dates d'arrivée et l'ordre décroissant de date de départ.

Lors d'un croisement, on choisit aléatoirement deux parents parmi les individus sélectionnés. Alors on poursuit le croisement en sélectionnant aléatoirement un point de section. Après cela, on intervertit les parties des deux parents qui sont de part et d'autre du point de section. Ainsi on crée deux enfants. Ensuite, on vérifie s'ils sont valides, en d'autres termes s'ils satisfont toutes les contraintes. S'il y a des contraintes qui sont violées, on effectue les corrections nécessaires. La procédure de vérification et de correction d'un enfant S est la suivante :

1) Vérifier si les conteneurs qui sont affectés à chaque pile se succèdent suivant l'ordre croissant de leurs dates d'arrivée et l'ordre décroissant de leurs dates de départ, ensuite supprimer les affectations qui ne respectent pas cette règle. Par exemple, si deux conteneurs k et k' sont affectés à la même pile et apparaissent dans S suivant le même ordre, si on a $k < k'$ et $T_k < T_{k'}$ alors nous supprimons le contenu de la colonne de S qui contient k' .

2) Vérifier s'il y a des conteneurs qui sont présents dans deux colonnes différentes (c'est-à-dire des conteneurs qui sont affectés à deux emplacements différents). S'il y en a, alors garder la colonne (k, b) qui minimise la distance entre les conteneurs et les baies.

3) Vérifier s'il y a des conteneurs qui sont absents. S'il y en a, alors chercher pour chacun d'entre eux la pile qui minimise la distance parmi celles qui sont compatibles et qui respectent les contraintes de capacité et d'ordre. Utiliser les affectations obtenues pour remplir les colonnes vides de S .

- **Méthode de mutation :**

La mutation sert à diversifier les générations afin d'éviter une convergence prématurée vers un optimum local. Dans notre algorithme génétique, elle est effectuée à la fin de chaque itération en fonction d'une probabilité que l'on nomme pm . Ainsi, à la fin de chaque itération. Alors on fait une mutation. Pour ce faire, on choisit aléatoirement un individu de la population et un conteneur que l'on affecte à une autre pile qui est elle aussi choisie aléatoirement parmi celles qui ne sont pas pleines et qui satisfont les contraintes de compatibilité, de capacité, et d'ordre.

2.5.B Exemple de programmation sur JAVA :

- **Présentation du programme Java :** [23]

Il existe différents styles de programmation, style applicatif, style impératif, et le style objet. Le style objet est style de programmation où l'on considère que des composants autonomes (**Les objets**) disposent de ressources et de moyens d'interaction entre-eux.

Le langage Java :

- Est né en 1995 chez Sun Microsystems, Version actuelle Java 8, actuellement Oracle, est orienté objet, est fortement typé,
- Toute variable doit être déclarée avec un type,
- Le compilateur vérifie que les utilisations des variables sont compatibles avec leur type. (Notamment via un sous type correct),

- Les types sont d'une part fournis par le langage, mais également par la définition des classes.

- **Le programme :**

L'interface du programme JAVA :

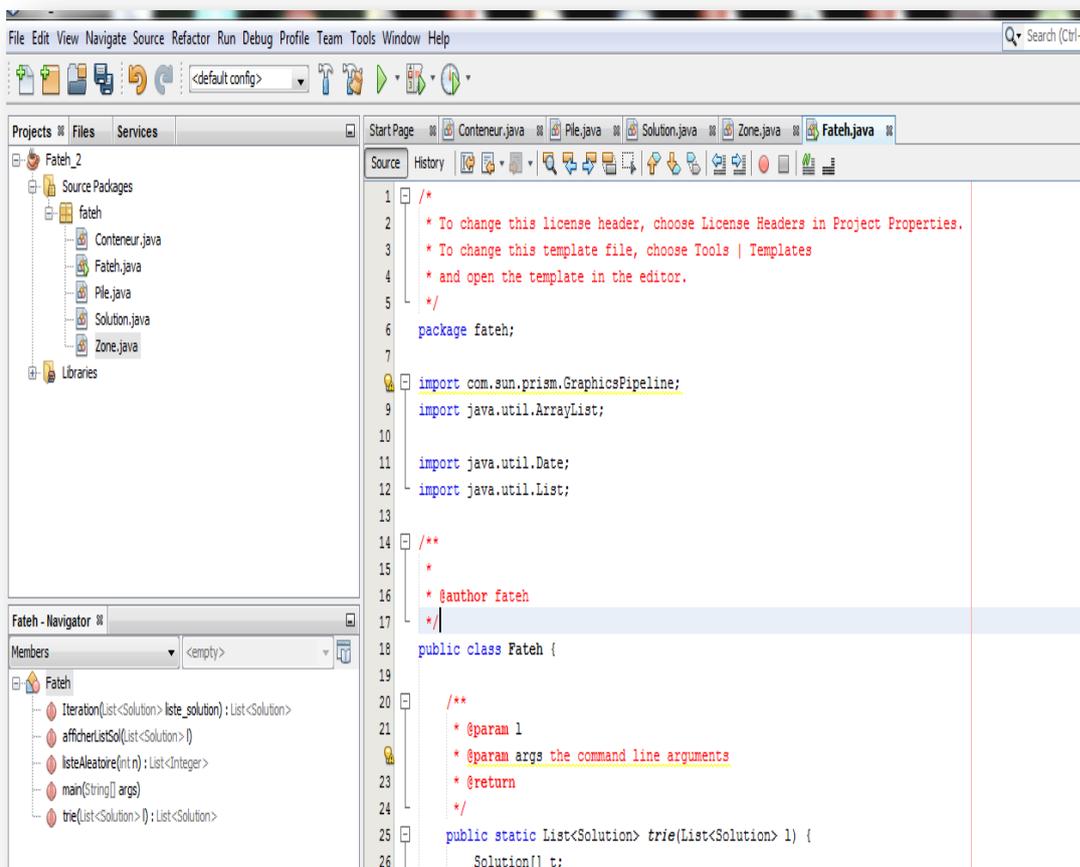


Figure 60 : L'interface du programme JAVA

Au départ, Nous avons introduire un ensemble des informations nécessaires relier avec les données du port, les clients, et l'armateur de navire.

```

111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
List<Conteneur> liste_conteneur = new ArrayList<>();

Conteneur c1 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/15/2017"), 2);
Conteneur c2 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/15/2017"), 4);
Conteneur c3 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/16/2017"), 8);
Conteneur c4 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/16/2017"), 8);
Conteneur c5 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/18/2017"), 2);
Conteneur c6 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/18/2017"), 3);
Conteneur c7 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/18/2017"), 5);
Conteneur c8 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/18/2017"), 2);
Conteneur c9 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/18/2017"), 3);
Conteneur c10 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/18/2017"), 5);
Conteneur c11 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/20/2017"), 2);
Conteneur c12 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/20/2017"), 2);
Conteneur c13 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/20/2017"), 3);
Conteneur c14 = new Conteneur(Conteneur.TYPE_20, new Date("05/20/2017"), 2);

liste_conteneur.add(c1);
liste_conteneur.add(c2);
liste_conteneur.add(c3);
liste_conteneur.add(c4);
liste_conteneur.add(c5);
liste_conteneur.add(c6);
liste_conteneur.add(c7);
liste_conteneur.add(c8);
liste_conteneur.add(c9);
liste_conteneur.add(c10);

```

Figure 61 : introduction des informations nécessaires de conteneurs

Ensuite, l'application des étapes de l'algorithme génétique, population initiale, sélection, croisement, mutation :

```

story
    * Génération du population intial
    *
    */
    int N = 6; // nombre de population initiale
    while (liste_solution.size() < N) {
        zoneInitial.creePere();
        Solution s = new Solution(zoneInitial);
        liste_solution.add(s);
        zoneInitial.init();
    }

    afficherListSol(liste_solution); // affichier la population tial

    /* for(Solution s:liste_solution){
        System.out.println(" ===== n°"+liste_solution.indexOf(s));
        s.zone.afficher();
    }*/
    List<Solution> sol_min = new ArrayList<>();
    sol_min.add(trie(liste_solution).get(0));

    int nbr_iter =800;
    int i = 0;
    List<Solution> L = liste_solution;
    while(i<nbr_iter){
        System.out.println("===== Iter "+i+" =====");
        List<Solution> Iteration = Iteration(L);
        if(Iteration.size()<= 4) break;
        sol min.add(trie(Iteration).get(0));
    }

```

Figure 62 : l'application des étapes de l'algorithme génétique

- **Les résultats :**

- 1) Population initiale :

La taille de population initiale N=6, six chromosomes, chaque chromosome représente le nombre de conteneurs et nombre de baies (14 conteneurs et 11 baies dans ce cas) :

```

Output - Fateh_2 (run) #3
run:
===== Sol: 1 =====
num: 1 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 4 | 1 | 10 | 13 | 14 | 5 | 8 | 11 | 6 | 9 | 12 | 3 | 7 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 | 11 |
Distance = 406.0

===== Sol: 2 =====
num: 2 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 1 | 2 | 11 | 8 | 3 | 10 | 12 | 14 | 13 | 7 | 9 | 6 | 4 | 5 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 10 | 11 | 11 |
Distance = 424.0

===== Sol: 3 =====
num: 3 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 7 | 4 | 6 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
Distance = 388.0

===== Sol: 4 =====
num: 4 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 3 | 7 | 12 | 5 | 2 | 9 | 4 | 13 | 14 | 6 | 8 | 10 | 11 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
Distance = 414.0

```

```

===== Sol: 5 =====
num: 5 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 6 | 5 | 12 | 3 | 11 | 14 | 8 | 10 | 13 | 7 | 9 | 2 | 1 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 | 11 |
Distance = 422.0

===== Sol: 6 =====
num: 6 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 11 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
Distance = 380.0

```

Figure 63 : Population initiale

2) La sélection :

Choisissons 60% de population initiale de ce cas, le programme nous donne trois solutions :

```
Output - Fateh_2 (run) #3 %
===== Iter 0 =====
List Selection
===== Sol: 1 =====
num: 6 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 11 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
Distance = 380.0

===== Sol: 2 =====
num: 3 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 7 | 4 | 6 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
Distance = 388.0

===== Sol: 3 =====
num: 1 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 4 | 1 | 10 | 13 | 14 | 5 | 8 | 11 | 6 | 9 | 12 | 3 | 7 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 | 11 |
Distance = 406.0
```

Figure 64 : l'étape de sélection

3) Le croisement : (point de croisement 5)

```
Output - Fateh_2 (run) #3 %
Croisement
num: 6 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 11 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
Distance = 380.0

num: 3 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 7 | 4 | 6 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
Distance = 388.0

Fils 1
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 7 | 4 | 6 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
Distance = 394.0

Fils 2
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 11 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
Distance = 374.0
```

Figure 65 : l'étape de croisement

4) La correction : (deux fils)

Fils 1 :

```
Output - Fateh_2 (run) #3

avant correction
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 7 | 4 | 6 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |

Distance = 394.0

indice double à modifier: 7
Pile avant => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°4 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Niveau 2 = Conteneur n°6 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 21/5/2017
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°4 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 3 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 3 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 4 | 3 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 | 9 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 11 |

Distance = 410.0
```

Figure 66 : Modification de colonne numéro 7

```
Output - Fateh_2 (run) #3

indice double à modifier: 5
Pile avant => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°4 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Niveau 2 = Conteneur n°3 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°3 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 10 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 10 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 3 | 10 | 1 | 5 | 12 | 2 | 8 | 9 | 9 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 11 |

Distance = 410.0
```

Figure 67 : Modification de colonne numéro 5

```

Output - Fateh_2 (run) #3 %
indice double à modifier: 11
Pile avant => Pile 10 distance: 38.0
Niveau 1 = Conteneur n°8 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 20/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 10 distance: 38.0
Niveau 1 Vide
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 11 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 11 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 13 | 11 | 6 | 4 | 7 | 8 | 3 | 10 | 1 | 5 | 12 | 2 | 9 | 9 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 11 | 11 |

Distance = 392.0

```

Figure 68 : Modification de colonne numéro 11

```

Output - Fateh_2 (run) #3 %
indice double à modifier: 13
Pile avant => Pile 11 distance: 40.0
Niveau 1 = Conteneur n°9 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 21/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 11 distance: 40.0
Niveau 1 Vide
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 14 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 14 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 14 | 13 | 11 | 6 | 4 | 7 | 8 | 3 | 10 | 1 | 5 | 12 | 2 | 9 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 11 |

Distance = 372.0

après correction
num: 7 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 14 | 13 | 11 | 6 | 4 | 7 | 8 | 3 | 10 | 1 | 5 | 12 | 2 | 9 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 11 |

Distance = 372.0

```

Figure 69 : Modification de colonne numéro 13

Fils 2 :

```

Output - Fateh_2 (run) #3
avant correction
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 11 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Distance = 374.0

indice double à modifier: 11
Pile avant => Pile 7 distance: 32.0
Niveau 1 = Conteneur n°11 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 7 distance: 32.0
Niveau 1 Vide
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 4 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 4 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 4 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 8 | 9 |

Distance = 366.0

```

Figure 70 : Modification de colonne numéro 11

```

Output - Fateh_2 (run) #3
indice double à modifier: 8
Pile avant => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°10 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
Niveau 2 = Conteneur n°12 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Niveau 3 = Conteneur n°14 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Pile après => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°10 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
Niveau 2 = Conteneur n°12 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 6 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 21/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 6 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 21/5/2017
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 4 | 6 | 10 | 12 | 3 | 5 | 9 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 8 | 9 |

Distance = 364.0

indice double à modifier: 7
Pile avant => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°10 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
Niveau 2 = Conteneur n°12 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 4 distance: 26.0
Niveau 1 = Conteneur n°12 Type 20 date_arrivee = 20/5/2017 date_depart = 22/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 7 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 7 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 23/5/2017
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 4 | 6 | 12 | 3 | 5 | 9 | 7 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Distance = 370.0

```

Figure 71 : Modification de colonnes numéro 8 et 7

```

Output - Fateh_2 (run) #3 %
indice double à modifier: 8
Pile avant => Pile 5 distance: 28.0
Niveau 1 = Conteneur n°3 Type 20 date_arrivee = 16/5/2017 date_depart = 24/5/2017
Niveau 2 = Conteneur n°5 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 20/5/2017
Niveau 3 Vide
Pile après => Pile 5 distance: 28.0
Niveau 1 = Conteneur n°5 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 20/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
Conteneur manquant num: 8 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 20/5/2017
Fils après la correction, insertion conteneur 8 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 20/5/2017
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 4 | 6 | 12 | 5 | 8 | 9 | 7 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Distance = 370.0

après correction
num: 8 Père 1: 6 Père 2: 3 p_croi: 5
| 11 | 14 | 10 | 13 | 3 | 4 | 6 | 12 | 5 | 8 | 9 | 7 | 2 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Distance = 370.0

```

Figure 72 : Modification de colonne numéro 8

5) Mutation :

```

Output - Fateh_2 (run) #3 %
Mutation
num_conteneur 9
Pile => Pile 7 distance: 32.0
Niveau 1 = Conteneur n°9 Type 20 date_arrivee = 18/5/2017 date_depart = 21/5/2017
Niveau 2 Vide
Niveau 3 Vide
avant l'insertion
num: 1 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 4 | 1 | 10 | 13 | 14 | 5 | 8 | 11 | 6 | 12 | 3 | 7 | 2 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 10 | 11 | 11 |

Distance = 414.0

après l'insertion
num: 1 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 4 | 9 | 1 | 10 | 13 | 14 | 5 | 8 | 11 | 6 | 12 | 3 | 7 | 2 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 10 | 11 |

Distance = 394.0

```

Figure 73 : L'étape de mutation

6) la solution finale :

```
***** Solution Final *****
num: 6 Père 1: -1 Père 2: -1 p_croi: -1
| 13 | 6 | 4 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | 3 | 5 | 9 | 11 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Distance = 380.0

***** FIN *****
BUILD SUCCESSFUL (total time: 0 seconds)
```

Figure 74 : la solution finale

- **L'interprétation des résultats :**

La mesure des résultats conduit à apporter continuellement des modifications stratégiques au niveau de l'EPG pour l'atteinte des objectifs. Ces modifications peuvent améliorer l'entreposage des conteneurs et accélérer les deux opérations (chargement et déchargement), et c'est le but de ce mémoire.

Notre proposition pour résoudre le problème PSC, reste un point important puisque nous avons démontré comment faut-il utiliser les moyens disponibles de la façon optimale (efficacité), de plus, l'EPG peut améliorer la méthode de stockage de conteneurs par l'application de ce programme Java et c'est l'objectif de l'entreprise (efficacité).

2.6 Conclusion :

Nous avons présenté des méthodes de résolution courantes pour le problème de stockage de conteneurs. Chaque méthode a une vision différente. Il s'agit des approches : par gestion, modélisation ainsi que l'optimisation heuristique.

Conclusion Générale

Dans un terminal à conteneurs, l'opération de chargement et de déchargement est une tâche très critique vu qu'elle a une influence directe sur la gestion des opérations de déchargement de ceux destinés à l'importation et à l'exportation.

Le stockage inapproprié des conteneurs peut détériorer l'ordonnancement du terminal puisque l'opération de leur récupération au moment du départ peut devenir inefficace et donc peu provoquer des retards. Parfois, les conteneurs peuvent être temporairement relocalisés ou remaniés afin d'en récupérer un cible qui est empilé en dessous. À d'autres moments, les moyens d'empilage peuvent avoir à parcourir d'une longue distance pour récupérer les conteneurs qui doivent être chargés de façon consécutive. Ces opérations supplémentaires de manutention et la distance de transfert étendue de grues d'empilage sont la principale source de retard de l'opération de chargement.

Dans ce travail, nous avons proposé des contributions scientifiques de résolution du problème de stockage de conteneurs (PSC) dans un terminal portuaire de GHAZAOUET. Ces contributions font suite à une étude bibliographique pour connaissances préliminaires sur le sujet. Ainsi qu'à des visites effectuées dans l'entreprise portuaire de GHAZAOUET (EPG), qui nous ont permis de bien cerner le problème y compris les besoins des industriels portuaires. Le principal constat qui a été fait, c'est la nécessité de systèmes efficaces d'aide à la décision qui permet aux planificateurs de gagner du temps tout en augmentant de la productivité du port. Pour répondre à ce besoin, nous avons, dans un premier temps, effectué une étude analytique du problème dans laquelle nous avons étudié sa complexité. Par ailleurs, nous avons proposé des méthodes de gestion entre les trois niveaux de décision (stratégique, tactique et opérationnelle); et des méthodes d'optimisation qui ont pour objectif principal d'attribuer le meilleur emplacement à chaque conteneur. Ces méthodes prennent en considération les contraintes physiques et logiques de stockage.

Leurs principaux atouts sont :

- Le traitement simultané de tous les conteneurs (importés, exportés, ou en transbordement entre différents navires).
- La détermination d'un emplacement de stockage précis pour chaque conteneur.
- La prise en considération des propriétaires et des destinations des conteneurs.

Nous avons choisi des algorithmes génétiques dans les méta heuristiques (méthode d'optimisation) pour résoudre le PSC. Toutes les étapes de notre algorithme (la création d'une population initiale, la sélection d'une partie de cette population, l'application de croisements entre les individus sélectionnés, la correction et la mutation d'un individu), ont été réalisées par le programme JAVA (Net Beans IDE 8.0).

Notre objectif était toujours la minimisation du nombre de conteneurs remaniés lors du processus de déchargement (départ) du port.

Bibliographie

- [1] A bon port Terminal de conteneurs Euromax : la logistique portuaire franchit un nouveau cap Uno Bryfors, Hans Cederqvist, Björn Henriksson, Andrew Spink(56 Revue ABB 3/2006).
- [2] Ecole supérieur des transports, Mémoire de fin d'études, Transport maritime : Le développement de la conteneurisation, MEMOIRE PRESENTE PAR Benoît Noël, SOUS LADIRECTION DE Jérôme VERNY, 56ème Promotion- 2003
- [3] Thèse réalisée au Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre (LMAH), « ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR LA RÉOLUTION DU PROBLÈME DE STOCKAGE DE CONTENEURS DANS UN TERMINAL PORTUAIRE »
- [4] WWW.iso.ch/iso/fr
- [5] WWW.portdeGhazaouet.com
- [6] Master **IASIG** Informatique Appliquée aux SIG, Projet de Structuration, LES PORTS, UNIVERSITE PIERRE & MARIE CURIE.
- [7] **Guide** des transports internationaux de marchandises, Mohammed El-Kamel KHELIFA.
- [8] **Thèse**, Optimisation Heuristique Distribuée du Problème de Stockage de Conteneurs dans un Port, par Meriam Kefi Gazdar.
- [9] COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE EN ADMINISTRATION DES AFFAIRES MBA RECHERCHE OPTION MANAGEMENT ET TECHNOLOGIE [thèse doctorat de JULIEN DUBREUIL FÉVRIER 2007].
- [10] [THÈSE doctorat de Ndèye Fatma NDIAYE] ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR LA RÉOLUTION DU PROBLÈME DE STOCKAGE DE CONTENEURS DANS UN TERMINAL PORTUAIRE
- [11] LA LOGISTIQUE DES TERMINAUX PORTUAIRES DE CONTENEURS [JULIEN DUBREUIL Aout 2008 CIRRELT].
- [12] Thèse réalisée au Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre (LMAH), « Modélisation et évaluation de la performance des terminaux portuaires »
- [13] Thèse, TECHNIQUES AVANCEES D'OPTIMISATION POUR LA RESOLUTION DU PROBLEME DE STOCKAGE DE CONTENEURS DANS UN PORT, Imen AYACHI HAJJEM.
- [14] Guide de client, document PDF.

- [15] K. H. Kim, Y. M. Park, and K. R. Ryu. Deriving decision rules to locate export containers in container yards. *European Journal of Operational Research*, 124 :89–101, 2000.
- [16] Les réseaux de Pétri pour la simulation de systèmes biologiques..... Jean-Paul (cours PDF).
- [17] http://www.moreere.eu/IMG/pdf/cours_petri2.pdf
- [18] Contribution à la modélisation de produit actif communicant, Spécification et Evaluation d'un protocole de communication orienté sécurité des produits. (Thèse)
- [19] Méthodes heuristiques en Optimisation Combinatoire (PDF).
- [20] Vers un système d'aide à la décision pour l'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs (cours PDF).
- [21] <http://www.dil.univ-mrs.fr/~gcolas/algo-licence/slides/gloutons.pdf>
- [22] https://rfia2012.files.wordpress.com/2011/12/amine_le_recuit_simulc3a9.pdf
- [23] les bases de la programmation orientée objet avec Java, Etienne Duris (PDF).

ملخص

إلى يومنا هذا، النقل البحري و بكل تطوراته، لعب دور مهم في العالم الإقتصادي. أمام هذا الواقع، مختلف الممثلين لسلسلة النقل عبر الموانئ أخذوا بعين الإعتبار التحسين المستمر للنتائج القياسية بنية البقاء في المنافسة.

في هذه المذكرة، نقترح نموذجين من الحلول، التسيير و التوسع، و هذا لحل مشكل تخزين الحاويات في ميناء الغزوات، الطريقة الأولى تجمع مفهوم التخطيط الجيد في ثلاث مستويات، الإستراتيجي، التكتيكي و التطبيقي. أما الطريقة الثانية فهي تحتوي مجموعة مراحل في مجال الحساب و الرياضيات، الغاية منها تقديم حل مناسب للمشكل و ذلك عبر تطبيقها في برنامج جافا.

المبحث الذي قدمناه، قصدنا به ميناء الغزوات بالدرجة الأولى، ركزنا فيه على نقل، تحويل و تخزين الحاويات بالإمكانات المتوفرة (ستاكار). الهدف من هذا الحصول على نموذج تخزين بمقارنة مختلف السيناريوهات الموجودة بغية التقليل من التأخير، الثمن و الإستثمار العقلاني.

Résumé

De nos jours, le transport maritime, en pleine évolution, joue un rôle très important dans le monde économique. Face à ce contexte, les différents maillons des chaînes logistiques portuaires sont tenus à améliorer continuellement leur performance pour rester compétitifs.

Dans ce mémoire, nous proposons deux approches, gestion et optimisation, pour la résolution du problème de stockage de conteneurs au niveau de l'entreprise portuaire de Ghazaouet. La première combine les trois niveaux de planification, stratégique, tactique et opérationnelle, la deuxième contribue à une méthode méta-heuristique, nous nous intéressons à la phase d'un algorithme génétique et nous proposons une étape de gestion de circulation de conteneur par la programmation sur le langage Java.

Nos travaux de recherche concernent tout particulièrement le port du Ghazaouet. Nous nous focalisons sur les processus de manutention, de transfert et de stockage des conteneurs par les STACKER. Le but est d'obtenir un modèle de stockage en comparant les différents scénarios de transfert des conteneurs par rapport à la minimisation des retards, des coûts et d'investissements.

Abstract

Nowadays, maritime transport, in full evolution, plays a very important role in the economic world. Faced with this context, the various links in the port logistics chains are bound to continually improve their performance in order to remain competitive.

In this paper, we propose two approaches, management and optimization, for the solution of the problem of storage of containers at the level of the port company of Ghazaouet.

The first one combines the three levels of planning, strategic, tactical and operational, the second one contributes to a meta-heuristic method, we are interested in the phase of a genetic algorithm and we propose a stage of container circulation management by programming on the Java language.

Our research is particularly focused on the port of Ghazaouet.

We focus on STACKER handling, transfer and storage processes.

The aim is to obtain a storage model by comparing the various container transfers scenarios for the minimization of delays, costs and investments.