

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A /Mira de Béjaia

Faculté des sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en recherche opérationnelle

Option : Modélisation Mathématique et Technique de Décision

Thème

**Evaluation des performances de la nouvelle Zone
Extra Portuaire "ZEP-Plein" de BMT et son
Impact sur la congestion du Parc**



Réalisé par :

- ✓ *M^r* Mebarki Souleyman
- ✓ *M^r* Zitouni Mohammed

| | | | |
|---------------------|----------------------------------|------------|-----------------------|
| Président du jury : | <i>M^r</i> R. LAGGOUNE | M.C.A | Université de Béjaia. |
| Examineurs : | <i>M^r</i> M. BOUALEM | M.C.A | Université de Béjaia. |
| | <i>M^{me}</i> S. HOCINE | M.A.A | Université de Béjaia. |
| Promoteurs : | <i>M^r</i> D. AISSANI | Professeur | Université de Béjaia. |
| | <i>M^{me}</i> F. AOUDIA | M.C.B | Université de Béjaia. |

Juin 2015

Abréviations

- EPB : Entreprise Portuaire de Béjaia.
- BMT : Béjaia Mediteranean Terminal.
- TC : Conteneur.
- EVP : Equivalent Vingt Pieds (TC 20 Pieds).
- RTG : Rubber Tier Guntry (Portique sur pneus).
- CTMS : Container Terminal Management System.
- PDS : Position Determining System.
- OCR : Optical Character Recognition.
- RDS : Radio Data System.
- QC : Quay Crane.
- MHC : Mobile Hurber Crane.
- ZEP : Zone Extra Portuaire.
- AFCET : Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique.

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir accordé santé et courage pour accomplir notre cycle d'études.

Nous remercions le *P^r* D. Aissani et *M^{me}* F. Aoudia pour leur disponibilité, leur modestie, leurs précieux conseils et leurs remarques constructives.

Nous remercions vivement les membres de jury : *M^r* R. LAGGOUNE pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury et à *M^r* M. BOUALEM et *M^{me}* S. HOCINE pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons une place particulière aux personnels de la BMT, en particulier *M^r* Belaid Idir de nous avoir accordé l'accès à la BMT, et le chef de service informatique *M^r* Boumerzoug Moussa et *M^r* Fateh l'ancien chef des opérations pour leurs conseils et leurs orientation durant notre stage.

Nous remercions vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loins à la réalisation de ce modeste travail.

Mohammed et Souleyman

Dédicas

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ Mes très chers parents ;
- ❖ Mes frères Anwar, Islem, Imed et Farouk ;
- ❖ Ma sœur Ibtissem ;
- ❖ Mes tantes, mes oncles, mes cousines et mes cousins ;
- ❖ Mes copains de chambre : Hillel Hamdaoui et Jaber ;
- ❖ Mon binôme ;
- ❖ Tous mes amis.

Mohammed

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ Mes très chers parents ;
- ❖ Mes frères ;
- ❖ Mes sœurs ;
- ❖ Mon binôme ;
- ❖ Tous mes amis.

Souleyman

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction Générale | 10 |
| 1 La conteneurisation | 13 |
| 1.1 Définition d'un conteneur (container) | 14 |
| 1.2 Les normes de construction | 14 |
| 1.3 Dimensions normalisées des conteneurs | 15 |
| 1.3.1 L'unité de mesure EVP | 15 |
| 1.3.2 Les dimensions | 15 |
| 1.4 Types des conteneurs | 15 |
| 1.4.1 Les conteneurs <i>dry</i> | 15 |
| 1.4.2 Les conteneurs ventilés | 16 |
| 1.4.3 Les conteneurs open top | 16 |
| 1.4.4 Les conteneurs flatrack | 17 |
| 1.4.5 Les conteneurs frigorifiques (<i>reefer</i>) | 17 |
| 1.4.6 Les conteneurs citernes | 18 |
| 1.5 Avantages et inconvénients des conteneurs | 18 |
| 1.5.1 Les avantages | 18 |
| 1.5.2 Les inconvénients | 18 |
| 1.6 Indentification internationale des conteneurs | 19 |
| 1.6.1 L'arrimage des conteneurs | 19 |
| 1.7 Les porte-conteneurs | 20 |
| 1.7.1 Généralités | 20 |
| 1.8 Transport maritime de conteneurs | 20 |
| 1.8.1 Conclusion | 21 |
| 2 Présentation de BMT | 22 |
| 2.1 Introduction | 22 |
| 2.2 Situation Géographique : | 22 |
| 2.3 Les lignes maritimes desservant <i>BMT</i> | 23 |
| 2.4 Principes des activités BMT : | 23 |
| 2.4.1 Les opérations | 23 |
| 2.5 Les équipements de la productivité de BMT | 24 |
| 2.6 Objectifs et Acquis de BMT | 25 |
| 2.6.1 Les objectifs : | 25 |
| 2.6.2 Principaux acquis : | 26 |
| 2.7 Organisation de BMT : | 26 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.7.1 | Direction Générale : | 26 |
| 2.7.2 | Direction des Ressources Humaines et Moyens : | 26 |
| 2.7.3 | Direction des Finances et Comptabilité : | 28 |
| 2.7.4 | Direction Marketing : | 28 |
| 2.7.5 | Direction des Opérations : | 28 |
| 2.7.6 | Direction Technique : | 29 |
| 2.8 | Le Terminal à conteneur de BMT : | 29 |
| 2.8.1 | Capacité : | 29 |
| 2.8.2 | Le plan du terminal à conteneur : | 30 |
| 2.9 | Les Outils de gestions de Terminal : | 30 |
| 2.9.1 | Le CTMS (Container Terminal Management System) : | 30 |
| 2.9.2 | Le PDS (Position Determining System) : | 31 |
| 2.9.3 | Le RDS (Radio Data System) : | 31 |
| 2.9.4 | Le OCR (Optical Character Recognition) : | 32 |
| 2.10 | Les Procédures de BMT : | 32 |
| 2.10.1 | A l'import : | 32 |
| 2.10.2 | A l'export : | 34 |
| 2.10.3 | Position du problème : | 35 |
| 3 | Files d'attente | 37 |
| 3.1 | Définition des files d'attente : | 37 |
| 3.2 | Classification des systèmes d'attente : | 37 |
| 3.3 | Notation de Kendal-Lee : | 37 |
| 3.4 | Les différentes disciplines de service : | 38 |
| 3.5 | Les files d'attente markoviennes : | 38 |
| 3.5.1 | La file d'attente M/M/1 : | 38 |
| 3.6 | Quelques caractéristiques d'un système d'attente : | 39 |
| 3.7 | Modèles Markoviens : | 39 |
| 3.7.1 | Le système M/M/1 : | 39 |
| 3.8 | Modèles non markoviens : | 40 |
| 3.8.1 | Le système M/G/1 : | 40 |
| 3.8.2 | Le système G/M/1 : | 41 |
| 3.8.3 | Le système G/G/1 : | 41 |
| 3.8.4 | Modèles non fiables : | 41 |
| 3.9 | Les réseaux de files d'attente : | 41 |
| 3.10 | Les réseaux de Jackson : | 42 |
| 3.11 | Les réseaux BCMP : | 42 |
| 3.11.1 | Les réseaux avec blocage : | 43 |
| 3.11.2 | Conclusion : | 43 |
| 4 | Simulation à événements discrets | 44 |
| 4.1 | La simulation : | 44 |
| 4.2 | Notion de système, de modèle et de simulation : | 44 |
| 4.2.1 | Notion de système : | 44 |
| 4.2.2 | Notion de Modèle : | 45 |
| 4.2.3 | Notion de simulation : | 45 |
| 4.3 | Étape de la simulation : | 45 |
| 4.4 | Concepts liés a la simulation : | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.5 | La simulation à événements discrets | 48 |
| 4.5.1 | Conclusion | 49 |
| 5 | Modélisation et Simulation du Processus de Débarquement | 50 |
| 5.1 | Collecte des données | 50 |
| 5.2 | Description du modèle | 51 |
| 5.3 | Le processus de débarquement | 52 |
| 5.4 | Identification des lois des processus intervenants | 52 |
| 5.4.1 | Identification de la loi de service des steackers (chargement d'un conteneur) | 52 |
| 5.4.2 | Identification de la loi de service des steacker pour décharger un conteneur sur un camion | 53 |
| 5.4.3 | Identification de la loi de service de la grue | 54 |
| 5.4.4 | Identification de la loi de service du QC | 55 |
| 5.4.5 | Identification de la loi du service des camions portuaires (Quai vers le parc) | 56 |
| 5.4.6 | Identification de la loi de service des camions portuaires (Quai vers la Zone Tampon) | 57 |
| 5.4.7 | Identification de la loi de service des camions routiers (Quai vers la Zone Extra Portuaire Plein) | 58 |
| 5.5 | Calcul des performances (temps moyen de séjour, taux de saturation) par la simulation | 59 |
| 5.6 | Résultats de simulation en cas de variation des paramètres : Augmentation du trafic | 61 |
| 5.6.1 | Cas 1 : Augmentation de 10 % du trafic vers la ZEP (Plein) | 61 |
| 5.6.2 | Cas 2 : Augmentation de 30 % du trafic vers la ZEP (Plein) | 62 |
| 5.6.3 | Cas 3 : Augmentation de 50 % du trafic vers la ZEP (Plein) | 63 |
| 5.7 | Variations du nombres des camions routiers | 65 |
| 5.7.1 | Cas 1 : 15 Camions routiers | 65 |
| 5.7.2 | Cas 2 : 20 Camions routiers | 66 |
| 5.7.3 | La variation du temps moyen de séjour d'un navire et la durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP : | 66 |
| 5.8 | Conclusion | 68 |
| | Conclusion Générale | 70 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Fermeture des conteneurs | 14 |
| 1.2 | Conteneur <i>dry</i> | 16 |
| 1.3 | Conteneur ventilé | 16 |
| 1.4 | Conteneur open top | 16 |
| 1.5 | Conteneur flatrack à parois d'extrémités fixes | 17 |
| 1.6 | Conteneur flatrack à parois d'extrémités mobiles | 17 |
| 1.7 | Conteneur frigorifique | 17 |
| 1.8 | Conteneur citerne | 18 |
| 1.9 | Marquage des conteneurs | 19 |
| 1.10 | Porte-conteneurs | 20 |
| 2.1 | Creation de BMT | 22 |
| 2.2 | Situation Géographique | 23 |
| 2.3 | Les lignes maritimes desservant <i>BMT</i> | 23 |
| 2.4 | Les équipement de manutention de <i>BMT</i> | 25 |
| 2.5 | L'organisation de BMT | 29 |
| 2.6 | Le plan du terminal à conteneur | 30 |
| 2.7 | Les procédures à l'import | 34 |
| 2.8 | Les procédures à l'export | 35 |
| 3.1 | Réseaux de files d'attente avec blocage | 43 |
| 4.1 | Modèle de simulation | 45 |
| 5.1 | Modèle du processus de débarquement | 52 |
| 5.2 | Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des steackers pour charger un conteneur | 53 |
| 5.3 | Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des steackers pour décharger un conteneur | 54 |
| 5.4 | Histogramme et Courbe de densité de la loi du service de la grue au débarquement | 55 |
| 5.5 | Histogramme et Courbe de densité de la loi des durées de service du QC au débarquement | 56 |
| 5.6 | Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers le parc de stockage | 57 |
| 5.7 | Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon | 58 |

TABLE DES FIGURES

| | | |
|------|--|----|
| 5.8 | Histogramme et Courbe de la loi de service des camions routiers pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein) | 59 |
| 5.9 | Variation des TCs de la Zone Extra Portuaire | 64 |
| 5.10 | La variation du taux de saturation du parc | 65 |
| 5.11 | Temps moyen de séjour d'un navire en fonction du nombre des camions routiers | 67 |
| 5.12 | Durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP | 68 |

Liste des tableaux

| | | |
|------|--|----|
| 5.1 | Ajustement de la loi de service des steackers pour charger un conteneur au camion. | 53 |
| 5.2 | Ajustement de la loi de service des steackers pour décharger un conteneur au camion. | 54 |
| 5.3 | Ajustement de la loi du service de la grue pour décharger un conteneur sur un navire. | 55 |
| 5.4 | Ajustement de la loi des durées de service du QC pour décharger un conteneur un navire. | 55 |
| 5.5 | Ajustement de la loi du service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers le parc de stockage. | 56 |
| 5.6 | Ajustement de la loi du service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon. | 57 |
| 5.7 | Ajustement de la loi du service des camions routiers pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein). | 58 |
| 5.8 | Taux d'utilisation des engins (%). | 60 |
| 5.9 | Taux d'utilisation des engins en cas de 10%. | 62 |
| 5.10 | Taux d'utilisation des engins en cas de 30% | 63 |
| 5.11 | Taux d'utilisation des engins en cas de 50%. | 64 |
| 5.12 | La variation du temps moyen de séjour d'un navire. | 67 |
| 5.13 | Variation de la durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP en fonction du nombre de camions routiers. | 68 |

Introduction Générale

La mondialisation a engendré une accélération des échanges internationaux et une augmentation des distances constatées entre les zones de production et les zones de consommation. Ainsi, au cours de ces dernières années, le commerce mondial de marchandises a augmenté en moyenne de 5.5% par an soit le double de l'accroissement de la production mondiale. Traitant plus de 85% du volume des échanges internationaux, le transport maritime a connu un taux annuel moyen de progression de 5% au cours de ces dernières années. Au-delà de l'augmentation spectaculaire du volume des échanges assurés par le transport maritime, ce secteur a connu une autre mutation avec la conteneurisation massive des marchandises.

La conteneurisation a révolutionné l'industrie portuaire aux plans national et international. Elle a eu une incidence déterminante sur la conception et la taille des navires, sur l'aménagement, l'équipement, les installations, les opérations et l'emploi dans les ports, sur les normes applicables aux transports intérieurs ainsi que sur l'aménagement de l'espace, les qualifications de la main-d'œuvre et l'idée que se font les chargeurs du fonctionnement de la chaîne de transport. De nos jours, les ports performant désormais des fonctions d'interface servant aux marchandises en consignation ou provenant de milliers de kilomètres d'un port donné.

Les ports maritimes existent pour faciliter le transfert des marchandises des transports intérieurs au transport maritime et vice-versa, et pour permettre aux marchandises d'entrer dans le pays et d'en sortir aussi rapidement et aussi efficacement que possible. La prospérité de tous les pays dépend dans une très large mesure du commerce extérieur.

Parmi les dix ports commerciaux que dispose l'Algérie, le port de Bejaia géré par l'EPB (entreprise portuaire de Bejaia) affiche une croissance et une dimension internationale, bénéficie d'un positionnement stratégique lui permettant de mettre en avant ses qualités et son plein potentiel sur le plan international, une place, un historique et un lieu de transit stratégique territorial et international.

Evidemment comme la plus part des ports à dimension universel, le terminal a conteneurs s'affiche primordial, constituant une avancée certaine concernant la privatisation d'une activité portuaire pour la BMT, joint-venture à capitaux mixtes de droit algérien entre l'EPB et le groupe singapourien PORTEK [22].

Ce partenariat a permis de faire une restructuration radicale du parc à conteneurs de l'EPB en augmentant sa capacité de 2100 EVP à 10300 EVP. Le terminal a conteneurs actuel BMT est doté de 4 quais parallèles d'une longueur de 500 mètres, d'un tirant d'eau de 12 mètres,

d'équipements modernes et d'un personnel ayant un esprit professionnel dans le domaine du traitement du conteneur.

Le volume total des marchandises diverses conteneurisées a atteint plus de 1.7 millions de tonnes en 2014, en baisse de 8% par rapport à 2013. Le nombre de conteneurs a lui aussi régressé aussi bien à l'import avec -4% et à l'export avec -5%. La baisse est due essentiellement à la congestion du terminal saturé par la lenteur des enlèvements due aux procédures. Les délais d'enlèvement des conteneurs se situent aujourd'hui à hauteur de 21 jours.

Afin d'assurer un bon fonctionnement du terminal à conteneurs, des études d'évaluation de ses performances ont été également nécessaires.

Une première étude a été réalisée en 2007 [7]. Elle avait pour objectif la modélisation globale du processus de débarquement/embarquement et avait montré que si le nombre de navires, qui était alors de 0.83 navires/jour, de taille moyenne de 170 EVP, augmente à 1.4 navires /jour (ou bien si la taille des groupes augmente à 290 EVP), le parc plein subira une saturation de 94

Une deuxième étude a été réalisée en 2008 [8]. Elle avait pour objectif d'analyser le fonctionnement du parc à conteneurs de l'entreprise BMT afin d'évaluer ses performances, puis de prévoir le comportement du système en cas d'augmentation du flot des arrivées des navires porte-conteneurs. Dans cette étude, un nouveau modèle a été proposé en décomposant le modèle global en quatre sous systèmes indépendants, à savoir : le processus "embarquement", le processus "débarquement", le processus "stock plein" et le processus "stock vide".

Une troisième étude a été réalisée en 2009 [6]. Elle avait pour objectif de déterminer le nombre optimal des camions remorqueurs à acheminer lors des processus embarquement et débarquement, afin de minimiser les durées d'attente du QC et des Camions remorqueurs ainsi que la durée de service d'embarquement et de débarquement.

Une quatrième étude a été réalisée en 2011 [4]. Elle avait pour objectif de déterminer le nombre optimal des RTGs à utiliser lors du processus de débarquement en fonction des Grues de quai utilisées puis d'effectuer une étude comparative entre le QC et la grue mobile portuaire (MHC) acquise en terme de productivité.

Une cinquième étude a été réalisée en 2011 [5]. Elle porte essentiellement sur l'étude pour la première fois des performances de la Zone Extra Portuaire (vides) de Béjaia, et sur sa capacité à faire face aux différents changements qui peuvent surgir.

Un modèle mathématique a été élaboré afin de décrire les différents processus qui s'y déroulent. La simulation a permis d'évaluer les performances du parc, dans les conditions actuelles et dans le cas d'augmentation du trafic, ainsi qu'en fonction du nombre de camions.

L'amélioration de la desserte terrestre du port, le soutien au report modal en faveur du rail ou encore le développement de zones logistiques et d'avant ports situés à l'intérieur ou même à l'extérieur de la circonscription portuaire sont donc aujourd'hui au cœur du rôle qui devrait être joué par l'Autorité portuaire. Il est à noter que les plateformes logistiques développées dans la majorité des ports visent non seulement à faciliter la transition des marchandises du port à l'arrière pays et vice versa mais également et surtout de renforcer la valeur ajoutée des activités portuaires : En témoigne l'importance des activités de conditionnement, de packaging et de

groupage des marchandises entreprises dans ces zones.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire consiste à analyser les mouvements des conteneurs, autrement éclaircir le lien existant entre la rapidité des opérations physiques (manutention, transport... etc.) et le temps d'immobilisation des navires. Pour cela le processus de débarquement est le noyau de notre étude lié à une livraison extra-portuaire, une zone logistique qui est la ZEP (Plein).

Ce mémoire est constitué d'une introduction générale, cinq chapitres, une conclusion et une bibliographie :

- Le premier chapitre est consacré à l'illustration du concept de la conteneurisation ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise BMT, de ses structures, de l'apport de chaque partie du partenariat, l'EPB et PORTEK, de ses moyens et de ses services ;

- Dans le troisième chapitre, nous présentons les notions de base de la théorie des files d'attente. Nous abordons les réseaux de files d'attente, que nous utilisons par la suite pour la modélisation.

- Dans le chapitre quatre, nous avons abordé la partie simulation.

- Dans le cinquième chapitre, nous présentons le concept d'évaluation des performances du modèle mathématique dégagé qui reflète au mieux le déroulement des différentes activités concernant le traitement des conteneurs pleins du quai jusqu'au la ZEP (Zone Extra Portuaire plein) à l'état actuel et en cas de variation des paramètres.

La conteneurisation

Introduction

Le conteneur maritime, qu'on appelle aussi "*container*" (terme anglais), a été créé en 1956 par l'américain Malcolm Mac Lean, transporteur routier né en Caroline du Nord en 1913 dans une famille de classe moyenne. En 1953, cet entrepreneur se rend compte que les autoroutes reliant les différents ports de la côte ouest sont complètement saturées et a eu l'idée d'embarquer directement les remorques des camions sur des bateaux. Il vend alors son entreprise de transport routier et investit dans une petite compagnie maritime pour transporter les remorques. Rapidement, il se rend compte que l'espace utilisé est trop important. De là, l'idée lui vient de routier les châssis et de n'embarquer que la partie supérieure de la remorque ; soit la "boîte" elle-même.

En moins d'une dizaine d'années, le système du container se répand à travers le monde entier car il permet, en sus d'optimiser l'espace à bord des navires, un gain de temps incroyable aux opérations de manutention. Mac Lean décide alors de mettre en place une normalisation internationale des containers et obtient en 1961 par l'ISO, 20, 30 et 40 pieds comme dimension standard des containers.

Aujourd'hui, il existe plusieurs types de conteneurs qui ont été créés afin de pallier à chaque fois un manque et d'optimiser des marchandises.

Dans ce chapitre, nous allons dresser une définition d'un conteneur, citer et illustrer quelques types de ce dernier ainsi que leurs caractéristiques, leurs avantages et inconvénients [16].

1.1 Définition d'un conteneur (container)

Le conteneur est complexe dans sa définition. C'est un emballage mais aussi une marchandise.

Le conteneur est à la fois un mode de conditionnement et un support logistique. Nous évoquerons dans ce travail les conteneurs maritimes qui, même utilisés dans les autres modes de transports, sont spécifiquement conçus pour le transport maritime. Avant de dresser l'inventaire des conteneurs en circulation actuellement, il convient de définir ce qu'est un conteneur. Le conteneur peut se définir grossièrement comme une "boîte", généralement métallique, de forme parallélépipédique, destinée à contenir des marchandises en vue de faciliter leur manutention et leur transport.



FIGURE 1.1 – Fermeture des conteneurs

1.2 Les normes de construction

Le plancher

En bois d'une épaisseur de 28 *mm*, résiste au passage de charoits de plus de 5 *tonnes*.

L'armateur

Constitué de cadre en acier de 5 *mm*, permet de supporter le poids de 5 autres conteneurs posés par dessus, soit une masse de plus de 125 *tonnes*, reposant uniquement sur les 4 coins du conteneur.

Le toit

En acier, épais de 1.5*mm* doit pouvoir supporter une charge de 300 *kg* sur une surface de 60 *cm** 30*cm* (soit le poids de 3 ou 4 dockers) sans subir aucune altération.

Les pièces de coin

La particularité des conteneurs réside dans l'adoption des pièces de coin ou "coin ISO". Chacun des huit coins du conteneur est équipé d'un cube en acier percé sur trois côtés ajustés au millimètre près et dont les dimensions et la position sont les mêmes partout dans le monde.

1.3 Dimensions normalisées des conteneurs

1.3.1 L'unité de mesure EVP

Du fait l'existence de différents standards, l'unité de mesure de la conteneurisation est devenue l'EVP (Équivalent Vingt Pieds). Les conteneurs des différentes dimensions sont ramenés, par équivalence, à des conteneurs de 20 pieds. Ainsi, un conteneur de 20 pieds correspond à 1 EVP, un conteneur de 40 pieds correspond à 2EVP et un pied correspond à 304,8 mm. Dans le jargon du transport international, un conteneur est souvent nommé une "boite".

1.3.2 Les dimensions

L'Organisation Internationale de Normalisation (*International Organization for Standardization*) permet de standardiser la dimension des conteneurs en circulation dans le monde. Plusieurs dimensions sont en service mais certaines catégories tendent à disparaître laissant essentiellement la place aux conteneurs de 20 et 40 pieds dans les dimensions seront résumées dans les tableaux 1.1 et 1.2.

On trouvera aussi des conteneurs de normes supérieures comme :

- Les "high cubes" de hauteur de 2896 mm ;
- De façon plus rare, les "palet wides" qui ont un centimètre de plus en largeur que les conteneurs classiques et peuvent être mis à bord en quinconce avec d'autres conteneurs classiques ;
- Nouvellement des 45 pieds qui ne peuvent être mis qu'en pontée et en troisième plan de porte-conteneurs.

| Type | Longueur(mm) | Largeur(mm) | Hauteur(mm) |
|----------|--------------|-------------|-------------|
| 20 pieds | 6058 | 2438 | 2591 |
| 40 pieds | 12192 | 2438 | 2591 |

TABLE 1.1-Dimensions extérieures maximales.

| Type | Longueur(mm) | Largeur(mm) | Hauteur(mm) |
|----------|--------------|-------------|-------------|
| 20 pieds | 5867 | 2330 | 2350 |
| 40 pieds | 11998 | 2330 | 2350 |

TABLE 1.2-Dimensions extérieures minimales.

1.4 Types des conteneurs

Dans les années 50, l'on distinguait trois types de conteneurs : les conteneurs "ordinaires", les conteneurs "pour liquides" et les conteneurs "spécialisés". La généralisation du conteneur et la progression de la mondialisation ont fait apparaître autant de types de conteneurs que l'exige la nature ou la forme de la marchandise transportée.

1.4.1 Les conteneurs *dry*

Ce sont des conteneurs conçus pour des marchandises générales conditionnées en cartons, fûts ou palettes ou encore en vrac. Ils se caractérisent par un toit fermé, des parois latérales et des extrémités rigides et sont équipés de porte à une extrémité (Voir Figure 1.2).

FIGURE 1.2 – Conteneur *dry*

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 . . .

1.4.2 Les conteneurs ventilés

Ce sont des conteneurs à usage général dont la surface de ventilation naturelle a été augmentée par l'ouverture d'orifices de ventilation dans longerons (Voir Figure 1.3).



FIGURE 1.3 – Conteneur 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.

1.4.3 Les conteneurs open top

Ce sont des conteneurs à toits ouverts. La différence avec les conteneurs *dry* est le toit qui est remplacé par une bâche ou une paroi rigide amovible pour faciliter le chargement et le déchargement vertical (Voir Figure 1.4).



FIGURE 1.4 – Conteneur open top

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

1.4.4 Les conteneurs flatrack

Ce sont les flats constitués d'une armature de base sans parois latérales qui sont utilisés comme plate forme de charge sur les navires pour le transport de marchandises fragiles et encombrantes (Voir Figure 1.5 et 1.6). On distingue 2 types de flats :

- Les flats rack fixed end ou à parois d'extrémités fixes :



FIGURE 1.5 – Conteneur flatrack à parois d'extrémités fixes

- Les flats collapsible ou à parois d'extrémités mobiles :

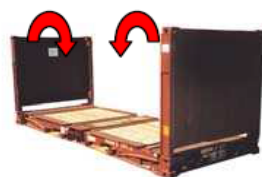


FIGURE 1.6 – Conteneur flatrack à parois d'extrémités mobiles

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

1.4.5 Les conteneurs frigorifiques (*reefer*)

Ce sont des conteneurs thermiques (parois isolées) qui sont munis de dispositifs de réfrigération et de chauffage. Les conteneurs frigo peuvent être soit alimentés en courant électrique par leur propre installation soit par l'installation du navire ou du terminal portuaire (Voir Figure 1.7).



FIGURE 1.7 – Conteneur frigorifique

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

1.4.6 Les conteneurs citernes

Ce sont les conteneurs destinés au transport de liquide et substances gazeuses (*tank container*). Ils sont composés de la citerne et l'ossature (Voir Figure 1.8).



FIGURE 1.8 – Conteneur citerne

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

1.5 Avantages et inconvénients des conteneurs

1.5.1 Les avantages

Les avantages liés à l'utilisation des conteneurs sont nombreux, tant du point de vue économique que pratique.

En effet, selon le premier point de vue, le coût de sa fabrication est aisément amorti dans la mesure où un conteneur, sauf accident, peut être employé en moyenne cinq à six ans, voire dix ans, compte tenu de quelques réparations éventuelles. Par ailleurs, comparé au transport en vrac, son coût est vingt fois moindre et on réalise un gain de temps lors du transbordement.

Nombreux sont également les avantages pratiques : les conteneurs résistent tout d'abord aux secousses et aux conditions météorologiques. De plus l'emballage des marchandises conteneurisées est simplifié et moins dispendieux. On peut rajouter la facilité qui réside dans la possibilité de géber les conteneurs, permettant ainsi de réaliser un gain de place.

1.5.2 Les inconvénients

Les conteneurs présentent cependant quelques inconvénients de leur accueil à l'intérieur des zones portuaires. Leur gestion pose également des problèmes, surtout en ce qui concerne les conteneurs vides. Ainsi, de nombreux ports maritimes et fluviaux ont dû procéder à des aménagements en raison de l'accroissement des transports par conteneurs ce qui implique d'importants investissements de la part de l'Etat et des régions concernées. Ces investissements consistent à repenser la géographie des ports et s'équiper d'infrastructure de transbordement de conteneurs.

Quant à la gestion des conteneurs, le constat est que, à certains endroits, on a une accumulation de conteneurs. En outre, le déplacement de conteneurs vides fait perdre de l'argent et du temps aux compagnies de transport quelque soit le mode.

1.6 Identification internationale des conteneurs

Le Bureau International des Containers et du Transport Intermodal (BIC) a proposé dès 1969 un code d'identification internationale des conteneurs. Ce code a été normalisé par l'ISO sous la dénomination de ISO 6346-*Conteneurs pour le transport de marchandises- codage, identification et marquage*.

Chaque conteneur est repéré par plusieurs marquages (Voir Figure 1.7) proposés à lui tout au long de son existence, à savoir :

- Un code de propriétaire ou opérateur de 4 lettres, la dernière étant un ;
- Un numéro de série de 6 chiffres ;
- Un chiffre d'auto-contrôle destiné à valider l'exactitude de l'enregistrement et transmission de données ;
- Un code taille-type qui était jusqu'en 1996 un code de 4 chiffres. Il compte toujours 4 caractères mais peut être maintenant alphanumérique. Le premier caractère indique la longueur du conteneur. Le deuxième la largeur, les troisième et quatrième caractère indiquent le type de conteneur ;
- De plus, apparaîtront, les masses net et brut, la plaque CISC ainsi que diverses autres plaques (Société de classification, plaque propriétaire, agrément douanier)

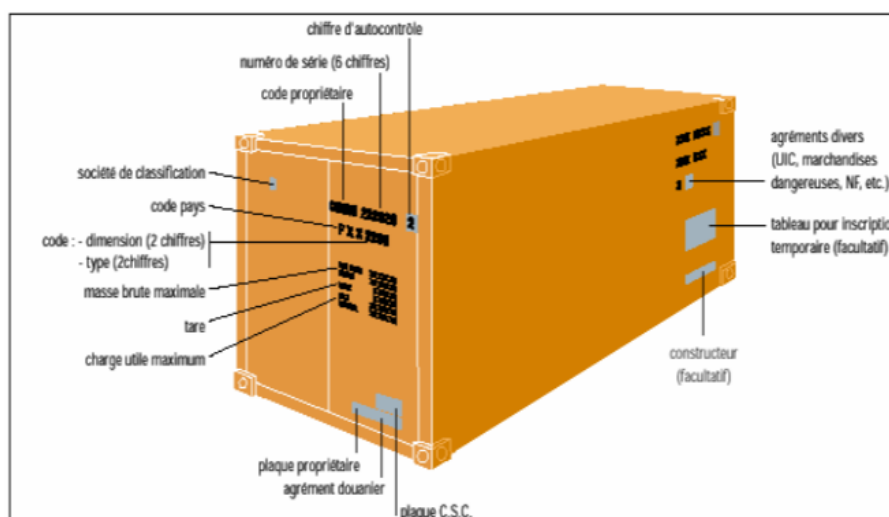


FIGURE 1.9 – Marquage des conteneurs

1.6.1 L'arrimage des conteneurs

Les conteneurs sont arrimés dans le sens longitudinal, les portes tournées vers l'arrière ou vers le milieu de la baie. Ils peuvent être placés en pontée ou en caïle.

Le nombre de conteneurs en pontée ne doit bien sûr pas compromettre la visibilité depuis la passerelle. Sur les

gros porte-conteneurs modernes, on peut atteindre 7 hauteurs en pontée.

1.7 Les porte-conteneurs

Les effets de la conteneurisation sur la vie à bord sont sensibles : les équipages sont moins nombreux, les escales plus courtes s'effectuent désormais loin des centres villes. N'oublions pas qu'un porte-conteneur de 5000 EVP navigue avec une quinzaine de marins à bord et remplace une dizaine de cargos classiques des années 60, qui nécessitait quelques 400 hommes d'équipage.



FIGURE 1.10 – Porte-conteneurs

1.7.1 Généralités

Le porte-conteneurs est un navire de ligne régulière intégré à une chaîne de transport uni-modal dont il est le maillon maritime. Il doit répondre à deux impératifs :

1. une capacité en conteneurs importante pour satisfaire le marché et atteindre un coût le plus bas possible,
2. le respect impératif des horaires pour obtenir le meilleur rendement de la chaîne de transport.

Il a fallu donc construire des navires ayant une grande capacité en conteneurs, une vitesse de croisière soutenue (et donc des formes à haut rendement) avec une largeur maximum imposée par le canal de Panama.

1.8 Transport maritime de conteneurs

Le transport maritime occupe une place importante dans les mouvements internationaux de conteneurs. En effet, plus de 60 du cargo général transporté par navire et aujourd'hui conteneurisé, certaines routes entre les pays industrialisés atteignant, un taux de 100. De plus, cette conteneurisation s'est effectuée rapidement, le premier service régulier remontant seulement à environ 300 millions de conteneurs EVP.

1.8.1 Conclusion

La conteneurisation de marchandises a joué un rôle important dans le développement des réseaux internationaux de transport intermodal. En effet, avec l'arrivée du conteneur, un important réseau international de transport basé sur l'utilisation d'un format standard de cargaison s'est développé. Cette standardisation a permis d'accélérer le transfert de la marchandise d'un mode de transport à l'autre. Aujourd'hui encore, les opérations de transfert d'un mode de transport à l'autre demeurent l'élément clé d'un système de transport performant.

Présentation de BMT

2.1 Introduction

BMT (Béjaia Mediterranean Terminal) - SPA est une jointe venture entre l'Entreprise Portuaire de Béjaia et PORTEK Systems and Equipment (PSE), une société singapourienne, est un opérateur de Terminaux à conteneurs présent dans plusieurs ports dans le monde est également spécialisé dans les équipements portuaires.

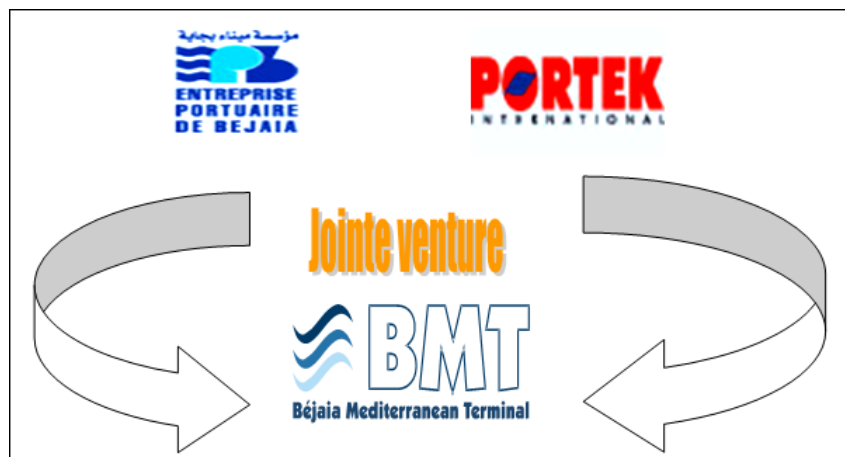


FIGURE 2.1 – Creation de BMT

2.2 Situation Géographique :

Implanté au centre du pays, au cœur de la méditerranée dans le nord du continent africain, le Port de Béjaia occupe une situation géographique stratégique. Il dessert un hinterland important et très vaste. La ville, le Port et le terminal à conteneurs de Béjaia disposent de ce fait de voies de communication reliant l'ensemble des routes du pays, des voies ferroviaires et à proximité d'un aéroport international.



FIGURE 2.2 – Situation Géographique

2.3 Les lignes maritimes desservant *BMT*

Une position géographique ainsi qu'une infrastructure et des services efficaces font du port de Béjaia le port préféré pour le commerce national et international, et de Béjaia Méditerranéenne Terminal à conteneurs l'opérateur par excellence.

Le port de Béjaia est desservi par plusieurs lignes régulières provenant de divers ports européens.

FIGURE 2.3 – Les lignes maritimes desservant *BMT*

2.4 Principes des activités BMT :

Béjaia Méditerranéenne Terminal reçoit annuellement un grand nombre de navires pour lesquels elle assure les opérations de planification, de manutention et d'acconage avec un suivi et une traçabilité des opérations.

2.4.1 Les opérations

Opérations planification :

- Planification des escales ;
- Planification déchargement/chargement ;

- Planification du parc à conteneurs ;
- Planification des ressources : équipes et moyens matériels.

Opérations de manutention :

- La réception des navires porte conteneurs ;
- Le déchargement des conteneurs du navire ;
- La préparation des conteneurs à embarquer ;
- Le chargement des conteneurs du navire.

Opérations d'aconage :

- Transfert des conteneurs vers les zones d'entreposage ;
- Transfert des conteneurs frigorifiques vers la zone " reefers " ;
- Mise à disposition des conteneurs aux services de contrôle aux frontières ;
- Mise à disposition des conteneurs vides pour empotage ;
- Suivi des livraisons et des dépotages ;
- Suivi des restitutions et des mises à quai pour embarquement ;
- Gestion des conteneurs dans les zones de stockages ;
- Sécurité absolue sur le terminal.

2.5 Les équipements de la productivité de BMT

BMT avait procédé à la définition et à l'achat de produits, équipements, et de systèmes de gestion du terminal permettant d'atteindre une très bonne productivité dans l'exploitation et une efficacité dans les opérations de traitements des conteneurs et un système de télésurveillance pour assurer la sécurité de la marchandise les systèmes en question sont :

- Un système logiciel pour la gestion des opérations du terminal ;
- Un système de communication de données se terrain en temps ;
- Un système de positionnement des transporteurs et de conducteur ;
- Un système de supervision des équipements et des infrastructures ;
- Une télé surveillance du par cet de ses périmètres.

BMT est le seul Terminal à Conteneur en Algérie à être suffisamment équipé en moyens et matériels spécialisé (Quai Crane, RTG, ...), de manutention et de levage qui réduisent les temps d'escale permettant de répondre aux attentes et aux exigences des opérateurs.

| Les équipements | Type | Nombre | Tonnage |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|------------------|
| Grue de quai (QC) | Quai Crane | 02 | 40 Tonnes |
| Pont roulant sur pneumatiques (RTG) | Rubber Type Gantry | 08 | 36 Tonnes |
| Camion remorque routière | Prime movers | 24 | 60 Tonnes |
| Camion remorque portuaire | Prime movers | 16 | 60 Tonnes |
| Chariots Elévateurs | Forklifts | 121 | 5, 10, 28 Tonnes |
| Steacker | Reach Stacker | 09 | 36 tonnes |
| Spreader | Empty Container Handler | 10 | 10 Tonnes |
| MHC (Grue) | Post Panamax | 02 | 100 Tonnes |



Grue de quai (QC)



Empty Container Handler (spreader)



Camion remorque portuaire



Rubber Type Gantry (RTG)



Mobile Harbor Crane (MHC grue)



Reach Stacker (steaker)



Chariots Elévateurs



Camion remorque routière

FIGURE 2.4 – Les équipement de manutention de *BMT*

2.6 Objectifs et Acquis de BMT

2.6.1 Les objectifs :

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

- Un gain de productivité ;
- Une réduction des coûts d'escale ;
- Une fiabilité de l'information ;
- Un meilleur service clientèle ;
- Faire face à la concurrence nationale et internationale ;
- Propulser le terminal au stade international ;
- Gagner des parts importantes du marché ;

- Cibler 150 000 EVP à partir 2008 et entre 5 et 10 de part de marché ;
- Augmenter la productivité de la manutention ;
- Développer le transport de bout en bout ;
- Améliorer le rendement et écourté les temps d'escale ;
- Mettre en place des procédures efficaces de gestion et une prestation de service répondant aux normes universelles ;
- Satisfaction complète de la clientèle et usagers portuaires en matière de transport et de manutention ;
- Prise en charge totale et entière des soucis du consignataire pour tout ce qui concerne le conteneur ;
- Tenir l'engagement d'assurer un service de qualité dans les meilleurs délais ;
- Offrir un niveau élevé de l'efficacité opérationnel pour les clients ;
- Améliorer le service et adopter les besoins du client ;
- Obtenir l'excellence dans la gestion des opérations terminales ;
- Créer de l'emploi.

2.6.2 Principaux acquis :

Les performances réalisées depuis la mise en concession de BMT :

- Augmentation de rendement de 8–10 à 25-30 unités de conteneurs /H ;
- Croissance de trafic conteneurs de 100.050 EVP (2007) à 120 000 EVP ;
- Réduction importante des séjours à quai des navires 26 h à 12 heures ;
- Formation du personnel aux nouvelles technologies de manutention et de gestion du terminal ;
- Accélération des formalités douanières grâce à l'installation du guichet unique.

2.7 Organisation de BMT :

2.7.1 Direction Générale :

A sa tête le Directeur Général qui gère la société BMP Spa, à le pouvoir de décision, administre l'entreprise, assigne des directives au directeur Général Adjoint qui fait la liaison et coordonne entre les différentes directions de BMT.

2.7.2 Direction des Ressources Humaines et Moyens :

La Direction des Ressources Humaines et Moyens est assuré par Monsieur DRHM La DRHM est placé sous l'autorité directe du Directeur Général.

Sa mission principale est de mettre en œuvres des systèmes de gestion intégrée à la stratégie de BMT pour atteindre ses objectifs et qui traduisent une adéquation entre les impératifs économiques et les attentes du personnel :

- Acquérir des ressources humaines en nombre et en qualité ;
- Assurer l'évolution de la carrière du personnel ;
- Planifier le développement du personne (Formations, séminaires... etc.) ;
- Assurer la rémunération ;
- Elaboration et prise en charge des dossiers sociaux ;
- Assurer l'approvisionnement et les achats ;

- Gestion des projets de l'entreprise ;
- Assurer le suivi de la gestion des stocks en fourniture de tout matériel à utiliser à la BMT ;
- Assurer et garantir la sécurité du personnel et du patrimoine de la BMT ;
- Assurer la propreté au sein de la BMT par des agents d'entretien et d'assainissement.

Le service des Ressources Humaines est composé de 04 sections :

- Section du personnel ;
- Section Paie ;
- Section des Prestation Sociales ;
- Section de Formation.

Ces différentes structures ont pour objectif la mobilisation et développement des ressources du personnel pour une plus grande efficacité et efficience, en soutien de la stratégie et l'organisation de BMT

Cette Structure est dirigée par le Chef Service des Ressources Humaines qui sous la responsabilité du Directeur des Ressources Humaines et Moyens et qui a pour responsabilités la gestion administrative du personnel (paye, déclarations sociales, effectifs, administration du personnel, ...), la formation et les relations sociales,

Section du Personnel :

Doit assurer la gestion courante du personnel consiste essentiellement à appliquer des règles en fonction des modifications qui surviennent dans la situation familiale ou professionnelle du personnel. Ces modifications sont appelées " évènements d'activité " et "évènements de situation ". Ces événements concernent les aspects les plus divers de la vie du travailleur : Travail, repos, heures supplémentaires, état-civil, famille, accidents de travail, maladies et absences, classement et avancement, formation professionnelle, récompenses et sanctions.

Section Paie :

Comme toutes les entreprises BMT est dotée d'un logiciel informatique PC Paie pour le traitement des salaires de ces employés. Cette section gère quotidiennement le calcul des droits et des obligations des employés cette gestion consiste à déterminer pour chaque travailleur lié par un contrat de travail à durée indéterminée ou déterminée, ses gains et ses retenues au regard de son activité, conformément : A la législation du travail Au règlement intérieur, notamment la gestion des absences, A la réglementation relative aux prélèvements obligatoires à la source des cotisations de sécurité sociale, d'impôt sur les revenus,

Section Prestation Sociales :

Elle est chargée de la déclaration des mouvements du personnel à la Caisse Nationale des Assurances Sociales :

- Affiliation des nouveaux recrues ;
- Radiation du personnel ayant cessé l'activité ;
- Gestion des allocations familiales ;
- Déclaration des maladies (Maternité, accident de travail et maladie professionnelle.) ;
- Préparation des dossiers de la retraite ;
- Préparation des dossiers du capital décès.

Section Formation :

Vu notre thème qui est " le Rôle de la formation dans une entreprise " la définition de cette structure est très importante donc on lui a réservé un chapitre.

2.7.3 Direction des Finances et Comptabilité :

La Direction des Finances et Comptabilité est actuellement sous la responsabilité de Monsieur DFC Sa mission est de :

- Veiller à l'adéquation de la politique financière de l'entreprise avec les objectifs globaux ;
- Coordonner et suivre les relations avec les institutions financières ;
- Assurer les relations avec les banques, et les administrations fiscales et parafiscales ;
- Assurer le recouvrement des créances de toute nature ;
- Etablir et suivre les budgets et les plans de financement ;
- Elaborer les plans de financement en assurant l'actualisation et l'exécution ;
- Déterminer, rechercher et négocier les financements les plus appropriés en relation avec les établissements concernés ;
- veiller à l'application des règles comptables et à la tenue correcte des livres au sein de la société ;
- Elaborer le bilan et autres états financiers et comptables ;
- Etablir et analyser le bilan de fin d'année.

2.7.4 Direction Marketing :

La Direction Marketing est restructurée récemment après la jonction des trois départements (Commercial + Marketing + Informatique) actuellement elle dirigée par Monsieur DM Sa mission est de :

- Élaboration une politique commerciale et tarifaire ;
- Élaboration le plan marketing ;
- Coordonner et veiller à la bonne exécution des actions marketing ;
- Assumer le rôle de représentation de l'entreprise en Algérie et à l'étranger ;
- Participer à l'élaboration du Business Plan ;
- Assurer la veiller technologique en matière de la communication et de l'information ;
- Elaboration des plans d'action de l'entreprise en terme d'efficacité de facturation de recouvrement et d'amélioration de la relation client ;
- Administration du système logiciel CTMS.

2.7.5 Direction des Opérations :

La Direction des Opérations est assuré par Monsieur DO Elle est placée sous l'autorité directe du Directeur Général.

La mission opérationnelle est de :

- Assurer la planification des escales, de parc à conteneurs et la planification des ressources, équipes et équipements ;
- Prendre en charge les opérations de manutentions, comme la réception des navires porte conteneurs et leurs chargements et déchargement.
- Suivre les opérations de l'aconage tel que : le suivi des livraisons, dépotages, restitutions du vide et le traitement des conteneurs frigorifiques

- Assurer la logistique.

2.7.6 Direction Technique :

La mission de la Direction Technique est d'assurer une maintenance préventive et curative des engins du parc à conteneurs. La mission opérationnelle est de :

- La maintenance et l'entretien des différents engins ;
- Soutenir les maintenances manager dans des issues mécaniques d'équipement du port ;
- Maintenir et trouver la panne défectueuse des mécanismes ;
- Résolution des problèmes (issues) chronique de la machine ;
- Amélioration de la performance par l'optimisation de procédures PM ;
- Fournir le support technique à tout le métal du port ;
- Entretien, installation, test, mise à jour, préparation et dépannage du matériel du port ;
- Enregistrement historique d'entretien de machines de maintenance ;
- Exécuter la maintenance et la préparation préventives des machines de productions ;
- Fournir la formation technique pour le personnel interne et externe.

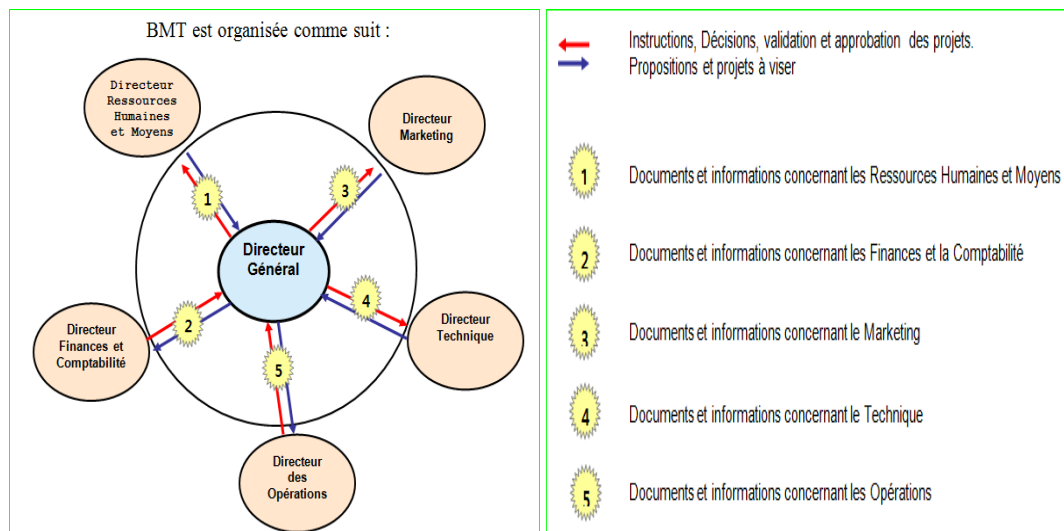


FIGURE 2.5 – L'organisation de BMT

2.8 Le Terminal à conteneur de BMT

2.8.1 Capacité

Avec quatre postes à quai de 500m, un tirant d'eau de 12m à partir du chenal, et une capacité de stockage de 10300 EPV, le Terminal à conteneurs de Béjaia offre des installations Spécialisées pour les conteneurs frigorifiques et les produits dangereux. Le Tableau ci dessus, résume les caractéristiques du Terminal à conteneurs.

| | | |
|---|---|---------------------------------|
| Quai Accostage | Longueur Profondeur Superficie du bassin Nombre de postes à quai Taux d'utilisation du quai | 500m 12m 60h 04 70% |
| Parc à conteneurs (Plien) | Capacité Superficie | 8300 EPV 68500m |
| Parc à conteneurs (vide) | Capacité Superficie | 9000 EPV 15200m |
| Parc à conteneurs (Plien) Frigorifiques | Capacité Superficie | 500 EPV 2800m |
| Zone pour Dépotage | Capacité Superficie | 600 EPV 3500m |

2.8.2 Le plan du terminal à conteneur

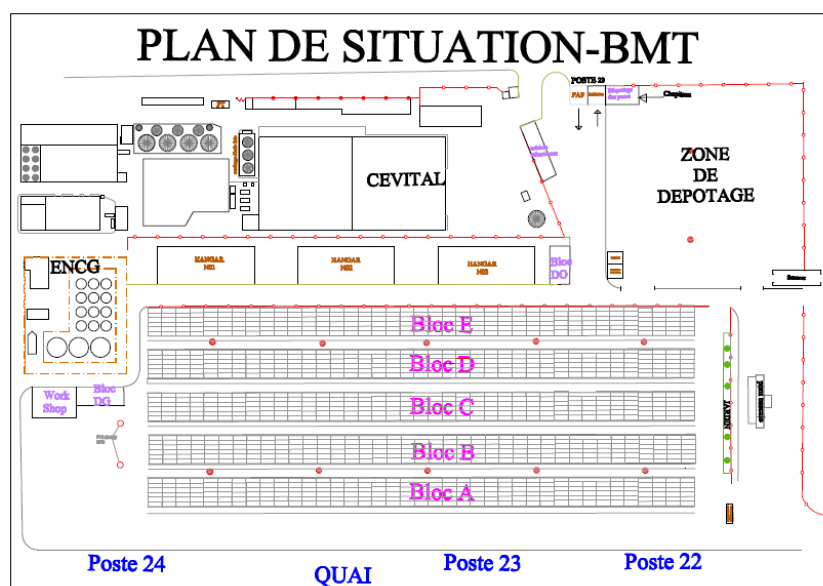


FIGURE 2.6 – Le plan du terminal à conteneur

2.9 Les Outils de gestions de Terminal

Pour améliorer l'efficacité dans la manutention des conteneurs, BMT s'est dotée de systèmes informatiques de gestion du terminal pour assurer une meilleure traçabilité du conteneurs et de sa sécurité. Les systèmes installés comprennent un CTMS, un OCR, un PDS et un environnement opérant en EDI.

2.9.1 Le CTMS (Container Terminal Management System)

BMT dispose d'un système logiciel de gestion de Terminal à conteneurs moderne (CTMS) qui a pour objectif d'effectuer des activités en temps réel, d'assurer une bonne planification du

Terminal, d'offrir un niveau élevé de l'efficacité opérationnelle pour ses clients, d'améliorer le service et s'adapté aux besoins des clients. Le CTMS assure plusieurs tâches telles que :

- Le suivi du processus d'importation et d'exportation ;
- La gestion de retour des conteneurs vides au terminal ;
- La gestion des restitution de conteneur (vides ou pliés) ;
- Le suivi de dépôtage des conteneurs ;
- Planification des navires et du parc à conteneur ;
- Le suivi des opérations de chargement et de déchargement ;
- Le réception des conteneurs à l'exploitation ;
- Le suivi des opérations de shifting au niveau du parc à conteneurs ;
- La facturation des clients.

2.9.2 Le PDS (Position Determining System)

Le PDS, autrement dit le system de détection de positionnement, permet de détecter tous les mouvements du conteneur en fournissant la position des appareils de manutention lorsque le conteneur est manipulé en employant le GPS (Gestion de position par satellite).

2.9.3 Le RDS (Radio Data System)

Pour accroître sa compétitivité, BMT doit optimiser la gestion de ses parcs à conteneurs. A cet effet, des stratégies fondamentales consistant à contrôler en temps réel les équipements de manutention de conteneurs et à assurer des cadences de chargement et déchargements plus rapides, ce qui bien entendu, nécessite de disposer d'informations adéquates concernant les aires de transbordement et de stockage.

Pour cela, un système qui englobe tous les éléments de transmission de données par radio fréquence (RDS) affecté à la gestion des conteneurs en ligne et en temps réel s'avère vital dans la perspective d'une gestion performante des vastes quantités d'informations associées aux flux de conteneurs entrants et sortants du terminal.

Le RDS fonctionne sur la base d'une transmission de données sans fil via les signaux hertziens numériques, opérant à une fréquence déterminée. La transmission sans fil (wireless) maintient une liaison radio bilatérale entre un Terminal mobile au niveau d'un poste de travail (au niveau des parcs à conteneurs ou sur le quai) et le serveur principal sur lequel tourne le CTMS. Le Terminal mobile est utilisé par les employés des opérations pour collecter et visualiser les données concernant la gestion du parc à conteneurs.

Ce Terminal mobile peut être portable, mais il peut être aussi monté sur un portique ou sur tout autre type d'équipement de levage. L'utilisation de la communication bilatérale signifie que les utilisateurs mobiles (par exemple grue, RTG, portique de levage) ne doivent pas se déplacer pour recevoir des instructions ou transmettre un rapport concernant les opérations. Ils sont donc en mesure d'effectuer leur travail en temps réel beaucoup plus efficacement avec gain de temps.

Les implications concrètes liées aux avantages du RDS se résument comme suit :

- Mise à disposition d'informations actualisées en temps réel ;

- Cadences de chargement et déchargement plus rapides ;
- Temps de réponse plus brefs ;
- Meilleure utilisation des ressources accrues ;
- Productivité des ressources accrue ;
- Plus grande précision et niveaux de services améliorés ;
- Les conteneurs ne sont pas égarés ;
- Opérations au niveau des aires de stockage sont plus rapides et plus efficaces ;
- Opération plus rapides au niveau des postes de transbordement ;
- Flexibilité dans la re-programmation des ressources et des tâches.

La mise en place du RDS a été nécessitée afin de réaliser des objectifs en termes de qualité de service, de rapidité de Productivité et d'utilisation rationnelle des ressources.

2.9.4 Le OCR (Optical Character Recognition)

Pour améliorer l'efficacité et la productivité de la manutention des conteneurs en transit dans le Terminal à conteneurs, BMT a opté pour une installation du système OCR basé sur la reconnaissance des caractères.

OCR est conçu pour identifier en temps réel tous les conteneurs entrant dans le Terminal ou sortant. Au moment où le conteneur (transporté par camion) s'engage dans le Terminal ou lorsqu'il en sort, le système OCR saisit et archive les numéros des conteneurs et enregistre l'heure d'arrivée ou de sortie du conteneur.

Équipé de caméras à balayage linéaire ultra rapides et haute résolution, le système OCR reconnaît l'image vidéo de chaque numéro au CTMS. Le système est conçu pour reconnaître les codes conformes à la norme ISO sur les conteneurs transportés par nos camions.

Avantage : Ce système de suivi en temps réel devrait permettre à BMT d'accroître l'efficacité des opérations de suivi et donnera aux utilisateurs une information précise. Ce qui améliorera les services à la clientèle et diminuera les retards et les coûts associés à la manutention et au transit des conteneurs.

2.10 Les Procédures de BMT

2.10.1 A l'import

1. La visite

Pour permettre un bon suivi des visites conteneurs, le transitaire doit remettre au service des opérations les documents suivants :

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

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

2. La pensée

Le client est appelé à présenter au service des Opérations les documents suivants :

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

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

3. La livraison

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

- Bon à délivrer (apuré par la douane) ;
 - Mise à quai en triple exemplaires ;
 - Copie de connaissance ;
 - Bon de commande (avec précision de la nature de prestation) ;
 - Quitus BMT (Container Delivrey Ordre délivré par la section commerciale) ;
- Par conséquent, l'agent chargé des opérations commerciales devrait conformer la conformité du dossier pour établir le Container Delivrey Ordre et l'enregistrer sur fichier électronique consacré au suivi des livraison.

4. Le dépotage

Le transitaire doit remettre l'agent de BMT chargé des dépotages un dossier complet devant contenir :

- Bon de commande ;
 - Bon à délivrer (apuré par la douane) ;
 - Lettre de dépotage (apuré par la douane) ;
 - Copie de connaissance avant 16h00 ;
 - Quitus BMT (Container Delivrey Ordre délivré par la section commerciale) ;
- Par la suite, l'agent de BMT prépare le document nécessaire pour le dépotage à remettre au pointeur affecté à la zone de dépotage (Container Mouvement Request), mais au préalable l'agent chargé des opérations commerciales remettra au chef de section exploitation une liste contenant tous les conteneurs à préparer pour le lendemain (selon demandes enregistrées après 16h00). Après chaque confirmation de fin de dépotage, l'agent doit s'assurer que la Lettre de dépotage soit signée par le responsable de section pour clôturer le dossier.

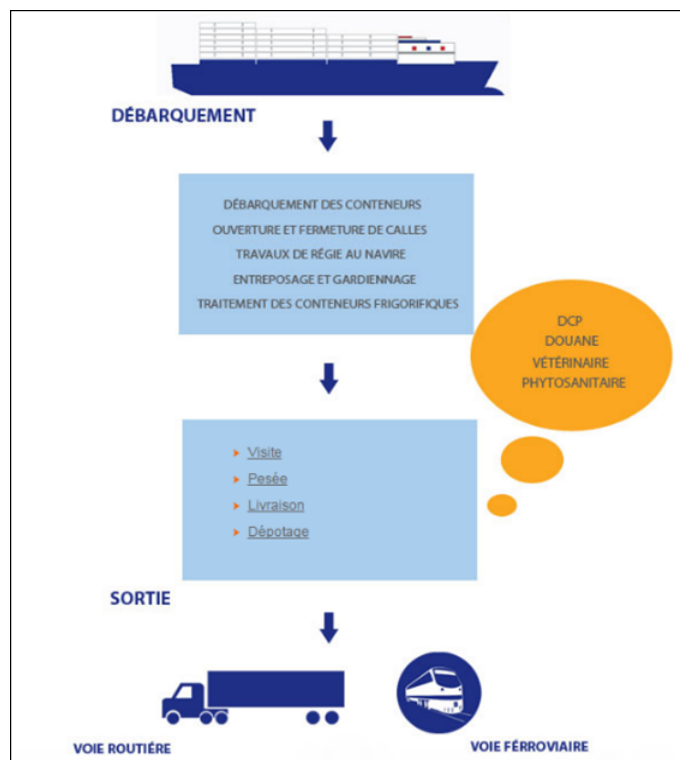


FIGURE 2.7 – Les procédures à l'import

2.10.2 A l'export

1. Le rapprochement

Pour permettre un suivi rigoureux du rapprochement, l'agent de BMT responsable du rapprochement doit exiger du pointeur une liste quotidienne des conteneurs rapprochés et s'assurer de son bon déroulement.

2. Suivi des mises à quai

Cette opération est assurée par un agent de la manutention, qui doit s'en assurer du bon suivi grâce à la tenue d'un fichier électronique mis à jour avec la saisie des rapprochements journaliers.

3. Mise à disposition

Le suivi des mises à disposition devrait être assuré par l'agent chargé des opérations logistiques responsable des mises à disposition, qui doit par conséquent tenir un fichier électronique spécialement consacré aux conteneurs mis à disposition.

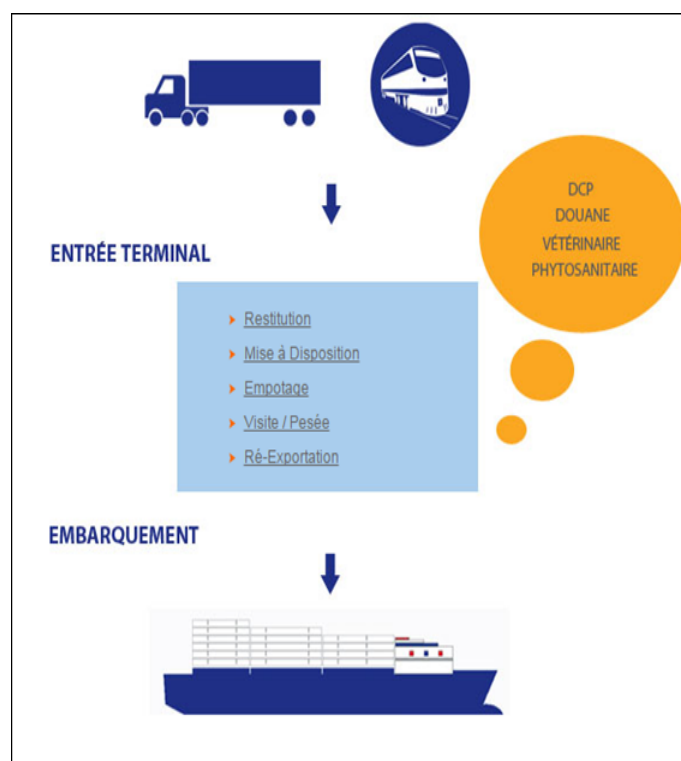


FIGURE 2.8 – Les procédures à l’export

2.10.3 Position du problème

Dans sa perpétuelle croissance, la BMT fait face chaque jour à de nouveaux problèmes dus essentiellement au nombre croissant de conteneurs à traiter dans des délais de plus en plus courts avec les moyens disponibles. D’où la nécessité d’avoir une idée précise sur les performances des différents équipements dont elle dispose. La Zone logistique d’Ighil Ouberouak située à environ 05 km au sud-est du port, ce site est d’une superficie de 48 560 m^2 , avec une capacité spaciale de 1 040 EVP et une capacité commerciale de 19 000 EVP. Notre étude se fixe comme premier objectif de déterminer et d’évaluer les performances de la Zone Extra-portuaire (d’Ighil Ouberouak Aboudao), réservée aux conteneurs pleins avec les équipements actuels, à l’aide d’outils mathématiques tels que les réseaux de files d’attente et la simulation.

En 2011, une étude avait été effectuée [5]. Cette dernière avait pour objectif d’évaluation de performance de la Zone Extra Portuaire de Béjaia ZEP des conteneurs vides situé à Aboudaou.

Le volume total des marchandises diverses conteneurisées a atteint plus de 1.7 millions de tonnes, qui correspond au nombre de 237 306 EVP traités en baisse de 9% au sien de parc. Cette baisse est due essentiellement à la congestion du terminal saturé par la lenteur des enlèvements due aux procédures.

Afin de répondre au problème de stockage des conteneurs vides qui créait un problème de congestion difficile a gérer au niveau du parc BMT.

Le deuxième objectif de notre travail vient répondre à ce problème en déterminant le taux de saturation du parc avec l’évènement de la création de cette nouvelle ZEP-Plein (fonctionnant

avec les équipements dont elle dispose actuellement), puis d'étudier la variation de ce taux de saturation en fonction de la variation des paramètres (les équipements), la diminution de ce taux de saturation est importante dans le sens qu'elle engendre d'une part, un gain d'espace de stockage et d'autre part un gain dans le temps de débarquement des navires. Ce qui engendre par la suite la diminution des coûts d'attente.

Files d'attente

3.1 Définition des files d'attente

Une *file d'attente* ou queue est un système stochastique composé d'un certain nombre (fini ou non) de places d'attente d'un ou plusieurs *serveurs* et bien sûr de *clients* qui arrivent, attendent, se font servir selon des *règles de priorité* données et quittent le système. La description précédente d'une file d'attente, ne saurait capturer toutes les caractéristiques des différents modèles que comptent la littérature mais elle identifie les éléments principaux permettant la classification de la grande majorité des files d'attente simples.

3.2 Classification des systèmes d'attente

- La nature stochastique du processus des arrivées, qui est défini par la distribution des intervalles séparant deux arrivées consécutives ;
- La distribution du temps aléatoire de service ;
- Le nombre m de serveurs (stations de service) qui sont montées en parallèle. On admet généralement que les temps de service correspondants suivent la même distribution et que les clients qui arrivent forment une seule file d'attente ;
- La capacité N du système. Si $N < \infty$, la file d'attente ne peut dépasser une longueur de $N-m$ unités. Dans ce cas, certains clients arrivant vers le système n'ont pas la possibilité d'y entrer.

3.3 Notation de Kendal-Lee

Un modèle de file d'attente est totalement décrit selon la notation de Kendal-lee. Dans sa version étendue, un modèle est spécifié par une suite de six symboles :

$$A/S/m/K/P/D$$

La signification de chacun de ces symboles est :

- A : nature du processus des arrivées ;

- S : nature du processus de service ;
- m : nombre de serveurs ;
- K : capacité d'accueil de file d'attente ;
- P : taille de population ;
- D : discipline de la file.

Dans la description des processus d'arrivée et de service, les symboles les plus courants sont :

- M : loi Exponentielle (memoryless) ;
- E : loi d'Erlang ;
- Γ : loi Gamma ;
- D : loi Déterministe ;
- G : loi Générale (quelconque).

La forme abrégée est : A/S/m signifie que K et P sont infinies.

3.4 Les différentes disciplines de service

La discipline de service décrit l'ordre avec lequel les arrivées dans le système vont accéder au service. Ces disciplines peuvent être :

- **FIFO (First In First Out)** : Le premier arrivé est le premier servi ;
- **LIFO (Last In First Out)** : Le dernier arrivé sera le premier servi ;
- **Random (aléatoire)** : Les clients accèdent au serveur de manière aléatoire, indépendamment de l'ordre des arrivées ;
- **Priorité relative** : Un client accède au service selon sa priorité. La file est gérée par ordre de priorité de la plus forte à la plus faible ;
- **Priorité absolue** : Le service d'un client est interrompu lorsqu'un client de priorité supérieure se présente devant la file d'attente. Le client dans ce service est interrompu et remis en tête de la file.

3.5 Les files d'attente markoviennes

3.5.1 La file d'attente M/M/1

Cette file modélise un guichet unique où chaque client reçoit un service dont la durée est une variable exponentielle de paramètre μ (indépendante de tout autre élément affectant le système) et où l'arrivée des clients correspond à un processus de Poisson de taux λ (les temps entre deux arrivées successives sont des variables indépendantes identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre μ). Les caractéristiques de ce système sont données par les relations suivantes :

- Le **régime transitoire** du processus stochastique $\{X(t); t \geq 0\}$ défini par les probabilités d'état $p_n(t) = p(X(t) = n)$. Les fonctions $p_n(t)$ dépendent de l'état initial ou de la distribution initial du processus.
- Le **régime stationnaire** du processus stochastique défini par :

$$p_n = \lim_{t \rightarrow \infty} p_n(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} p(X(t) = n); n = 0, 1, 2, \dots$$

3.6 Quelques caractéristiques d'un système d'attente

La théorie des systèmes d'attente a comme objectif d'étudier les structures et de calculer les valeurs caractéristiques permettant de décrire les performances d'un tel système. Parmi ces caractéristiques, on distingue :

- L_s : Le nombre moyen de clients dans le système ;
- L_q : Le nombre moyen de clients dans la file ;
- W_s : Le temps moyen de séjour d'un client dans le système ;
- W_q : Le temps moyen d'attente d'un client dans la file ;
- ρ : Le taux d'occupation du système ou intensité du trafic ;
- U_j : Le taux d'occupation du serveur j.

3.7 Modèles Markoviens

Pour les Modèles Markoviens de files d'attente sont des systèmes où les deux quantités stochastiques principales " les temps des inter-arrivées " et " la durée de service " sont des variables aléatoires indépendantes, exponentiellement distribuées. La propriété " sans mémoire " de la loi exponentielle facilite l'analyse de ces modèles [5].

Parmi ces modèles, on peut citer :

- M/M/1 ;
- M/M/s ;
- M/M/s/k.

3.7.1 Le système M/M/1

Pour le système d'attente le plus simple M/M/1, le flux des arrivées est Poissonien, de paramètre λ et la durée de service est exponentielle de paramètre μ . Il y'a un seul serveur avec une discipline FIFO.

a)- Régime transitoire

Grâce aux propriétés fondamentales du processus de Poisson et de la loi exponentielle, le processus $\{X(t)\}_{t \geq 0}$, qui définit le nombre de clients dans le système à l'instant t, est Markovien. Les équations différentielles de Kolmogorov de ce système permettant de calculer les probabilités d'états $p_n(t)$ qui sont de la forme :

$$\begin{aligned} p'_0(t) &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), n = 0 ; \\ p'_n(t) &= -(\lambda + \mu)p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t) + \mu p_{n+1}(t), n = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

b)- Régime stationnaire

Lorsque $t \rightarrow \infty$ dans le système d'équations de Kolmogorov, on a :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_n(t) = p_n.$$

Ces probabilités existent et sont indépendantes de l'état initial du processus et :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p'_n(t) = 0.$$

On obtient alors un système linéaire d'équations et homogène :

$$\begin{aligned} \mu p_1 &= \lambda p_0, n = 0; \\ \lambda p_{n-1} + \mu p_{n+1} &= (\lambda + \mu) p_n, n = 1, 2, \dots \end{aligned}$$

sous la condition de normalisation $\sum_{n=0}^{\infty} p_n = 1$.

Après la résolution de ce système, on obtient la solution suivante :

$$p_n = p_0 (\lambda \mu)^n = (1 - (\lambda \mu)) (\lambda \mu)^n, n = 0, 1, 2, \dots$$

Les caractéristiques de ce système sont données par :

$$\begin{aligned} \rho &= \lambda / \mu; \\ L_s &= \rho / (1 - \rho); \\ W_s &= 1 / (\mu - \lambda); \\ L_q &= \rho / \mu (1 - \rho); \\ W_q &= \rho^2 / (\mu - \lambda); \end{aligned}$$

La condition de stabilité (équilibre) de ce système est : $\rho = \lambda / \mu < 1$.

3.8 Modèles non markoviens

En s'écartant de l'hypothèse d'exponentialité des deux quantités stochastiques "les temps des inter-arrivées" et "la durée de service", on n'aura plus de processus markovien [5].

Ce qui rend l'analyse de ce modèle très difficile, voir impossible. Les développements se simplifient parfois pour les files ou $s = 1$. De nombreuses approximations sont cependant disponibles, parmi elles, on citera :

- Méthodes des étapes d'Erlang ;
- Méthode de la chaîne de Markov induite ;
- Méthode des variables auxiliaires ;
- Méthode des événements fictifs ;
- Méthodes d'approximation, simulation.

3.8.1 Le système M/G/1

Ce système possède un processus d'arrivée poissonien de paramètre λ et une loi de service quelconque de moyenne $1/\mu$. La propriété de Markov du processus $X(t)_{t \geq 0}$ (nombre de clients dans le système à l'instant t) facilitant l'analyse du système M/M/1 n'est plus vérifiée pour le système M/G/1, ce qui rend son analyse plus délicate. Les méthodes d'analyse des systèmes non markoviens citées précédemment peuvent être utilisées pour l'analyse de ce système.

3.8.2 Le système G/M/1

Le système G/M/1 est semi-markovien. Il constitue le dual du système M/G/1. Dans ce cas, les temps des inter-arrivées des clients suivent une loi générale F et les temps de service sont indépendants et identiquement distribués selon une loi exponentielle de paramétré μ .

3.8.3 Le système G/G/1

Pour décrire l'évolution du système G/G/1, on a besoin de caractériser, en plus du nombre de clients dans le système, le temps déjà écoulé depuis l'arrivée du dernier client. On aura ainsi un processus sans mémoire, dont l'espace des états est mixte, difficile à analyser. Il est impossible de choisir des instants d'observation particuliers permettant de se ramener à un processus de Markov simple. Cependant, de nombreuses formules ont été mises au point pour obtenir le nombre moyen de clients dans la file ou ce qui est équivalent au temps moyen de réponse. Mais elles sont toutes des approximations.

3.8.4 Modèles non fiables

Lors de l'étude des problèmes classiques de théorie des files d'attente, on supposait que les serveurs étaient absolument fiables. Cependant, dans plusieurs situations réelles, on rencontre souvent des cas où les serveurs sont sujets à des pannes aléatoires et par conséquent, durant les périodes de réparation, le service des clients est interrompu. L'analyse de fonctionnement de ces systèmes absolument fiables, où les serveurs ne tombent pas en panne durant les périodes de service. L'étude de tels systèmes est indubitablement très importante pour les applications pratiques, car la fiabilité des serveurs a une influence abondante sur les caractéristiques du système étudié. En particulier, plus les serveurs tombent en pannes, plus le nombre de clients dans la file est élevé et plus la durée d'attente de chaque client dans la file est longue. Les types de pannes de serveurs dans un système de files d'attente les plus rencontrés sont :

Pannes de nature conservatrices : Dès que la panne se produit, le service est interrompu, mais le client reste auprès du serveur et attend que ce dernier soit réparé. Après la réparation, le service reprend là où il a été interrompu.

Pannes de nature non conservatrice : Dans ce cas, la partie de service déjà acquise est détruite. Après la réparation de la panne, le service reprend à zéro.

Pannes avec perte définitive de clients : dès que la panne se produit, le client quitte le système pour de bon.

Pannes avec perte momentanée de clients : dès que la panne se produit, le client quitte le serveur et entre en orbite. Par la suite, son comportement ne diffère en rien de celui des clients qui se trouvent déjà en orbite.

3.9 Les réseaux de files d'attente

Les réseaux de files d'attente sont des ensembles finis des systèmes de files d'attente. Deux catégories de réseaux existent : Les réseaux ouverts qui possèdent une ou plusieurs entrées de l'extérieurs et les réseaux fermés qui, au contraire, ne possèdent pas d'entrées externes. Le

nombre de clients dans cette dernière catégorie est fixe. Lorsque plusieurs classes de clients sont définies, le réseau est dit mixte s'il est ouvert pour certaines de ces classes, et fermé pour d'autres [1].

Peu de réseaux de files d'attente ont une solution analytique simple. Ceci est dû principalement à la difficulté d'étudier les propriétés des flux inter-stations.

3.10 Les réseaux de Jackson

$p_{ij} = P(\text{un client sortant de la station } i \text{ se dirige vers la station } j)$, Si le réseau est ouvert, il possède une source notée 0, qui permet à des clients venant de l'extérieur d'entrer dans le réseau vers la file j avec la probabilité p_{0j} de plus, il existe une station puits dénotée $N + 1$ par laquelle les clients quittent le système. Le flux total des clients arrivant dans le système forme un processus de Poisson de paramètre λ .

$$\sum_{i=0}^{N+1} p_{ij} = 1, i = 0, \dots, N$$

Si le réseau est fermé, les stations 0 et $N + 1$ sont confondues : il n'y a pas de clients entrant dans le système ni de clients pouvant en partir. Le nombre de clients reste constant dans un réseau fermé.

Soit n_1, n_2, \dots, n_N le nombre de clients respectivement dans la file $1, 2, \dots, N$. Le comportement du réseau est totalement défini par les valeurs de

$P(n_1, n_2, \dots, n_N, t)$ qui est la probabilité d'être au temps t , dans l'état

n_1, n_2, \dots, n_N , que nous appellerons probabilité jointe, et la probabilité marginale $P(n_i, t)$ d'avoir n_i clients dans la file i au temps t . Un réseau de files d'attente sera dit en équilibre, s'il existe un état stationnaire.

Théorème : Un réseau de Jackson ouvert, stable et fermé de n files possède une distribution stationnaire unique donnée par

$$P(n_1, n_2, \dots, n_N) = \prod_{i=1}^N P(n_i)$$

Ainsi, en régime stationnaire, un réseau de se comporte comme autant de files de type M/M/m isolées recevant leurs clients selon des processus de Poisson indépendants les uns des autres. Une distribution de la forme (2.3) est dite à forme produit et les réseaux associés sont dits réseaux à forme produit.

3.11 Les réseaux BCMP

Les réseaux BCMP (Basket, Chandy, Muntzet, Palacios) sont une extension des réseaux de Jackson. Ils gardent la solution à forme produit à l'état d'équilibre, mais ils autorisent plusieurs classes de clients et des disciplines de service différentes de FIFO. Les probabilités de l'acheminement des clients à travers de ce type de réseau sont données par l'intermédiaire d'une chaîne de Markov, de probabilité de transition :

$$P = (P_{ir, jr'}), i = 0, \dots, N + 1, r' = 1, \dots, R$$

Elle exprime la probabilité qu'un client de classe r de la relation i se dirige vers la station j en classe r' . On peut également avoir une source et un puits dans ce réseau, tel que :

$P_{0, jr'}$ = Probabilité qu'un client venant de la source entre dans la file j en classe r' .

$P_{ir, N+1}$ = Probabilité qu'un client de la file i de la classe r sort vers l'extérieur.

3.1.1.1 Les réseaux avec blocage

Les phénomènes de blocage résultent généralement de la limitation de capacité des files d'attente. Lorsque la file de la $K^{\text{ème}}$ phase est pleine service à la $(K - 1)^{\text{ème}}$ phase est bloquée jusqu'à ce qu'une place se libère. Un exemple de ce type de modèle est représenté par la figure ce dessus.

Dans ce système, il ne peut pas y avoir formation de file d'attente à la seconde phase. Cette

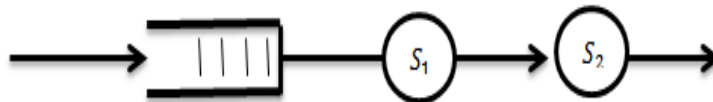


FIGURE 3.1 – Réseaux de files d'attente avec blocage

disposition des station entraîne des situation de blocage du premier serveur (les clients n'ont pas accès au service) même dans le cas où le service du client est terminé et que la file n'est pas vide. Le service reprend dès que le seconde serveur se libère et le client bloqué accède à la seconde phase.

3.1.1.2 Conclusion

Actuellement en continuelle progression, la théorie des files d'attente connaît un regain d'intérêt, notamment dans la modélisation du transport maritime. Pour notre cas, cette théorie va nous permettre au chapitre 5 de modéliser les différents mouvements des conteneurs plein, au niveau de la ZEP d'IOB (plein), que ce soit lors de la livraison, le transfert ou l'entreposage vers le terminal à conteneurs.

Simulation à événements discrets

Introduction

La simulation est aujourd'hui largement reconnue comme une technique puissante pour l'analyse et la conception des systèmes. Elle peut être appliquée dans divers domaines tels que l'analyse des systèmes de service (Banques, Téléphonie,...), les systèmes de production (ou de fabrication), les systèmes, naturels (biologiques, écologiques,...), et les systèmes informatiques (d'exploitation, de communication,...).

Dans ce chapitre, nous allons voir quelques concepts de la simulation que nous utiliserons plus tard (chapitre 5), comme alternative au calcul numérique pour évaluer les performances de la ZEP (Plein).

4.1 La simulation

La simulation est un outil de résolution numérique, mais aussi une discipline de modélisation. La simulation est un processus qui consiste à concevoir un modèle du système (réel) étudié, à mener des expérimentations sur ce modèle et à interpréter les observations fournies par le déroulement du modèle et formuler des décisions relatives au système. La simulation est un outil de résolution numérique, mais aussi une discipline de modélisation.

4.2 Notion de système, de modèle et de simulation

Les trois notions : système, modèle et simulation sont intrinsèquement liées. Nous allons définir de manière plus ou moins précise chacune d'elles :

4.2.1 Notion de système

Le mot système couvre un champ d'application immense et de nombreuses définitions lui ont été attribuées dans la littérature. Nous proposerons celle donnée par l'**AFCET** : " Un système est une entité complexe traitée (eu égard à certains finalité) comme une totalité organisée, formée d'éléments et de relations entre ceux-ci, les uns et les autres étant définis en fonction de la place qu'ils occupent dans cette totalité et cela de telle sorte que son identité soit maintenue face à certaines évolution."

La complexité d'un système provient du fait qu'il peut comporter beaucoup de sous systèmes

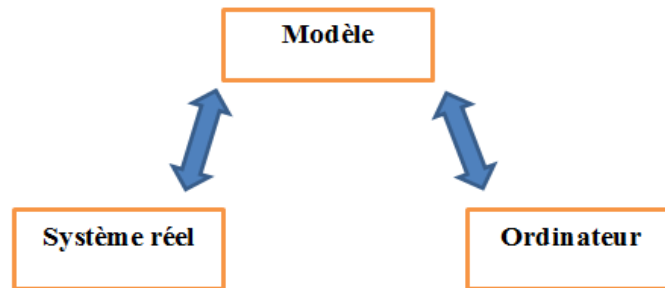


FIGURE 4.1 – Modèle de simulation

interconnectés et pouvant avoir des objectifs en conflits. L'analyse doit disposer de méthodes et d'outils capables de représenter ces systèmes, sans recourir à une simplification grossière, origine d'une perte d'information ; ni à la construction de modèles complexes, inexplicables par la suite à cause d'un manque de documentation, de problèmes de validation des modèles, ou de probabilité de programme.

4.2.2 Notion de Modèle

Un modèle est une représentation abstraite d'un système réel dirigé par un objectif. Il n'y pas un modèle d'un système qui représente toutes les caractéristiques du système. D'une part, la modélisation est dirigée par la perspective que l'on souhaite avoir du système, i.e ce qui sera considéré et ce qui sera ignoré. Par exemple, prenons comme système un ordinateur. Le concepteur d'un tel système pourra à un moment donné vouloir étudier le taux de défaillance. Dans ce cas, il réalisera un modèle de fiabilité dont la donnée d'entrée du modèle sera la fiabilité des composants et la donnée de sortie une durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTTF – Mean Time To Failure). Ou bien il voudra étudier

4.2.3 Notion de simulation

Le terme simulation est dérivé du mot latin *simulare* qui veut dire copie, feindre ,faire paraître comme réelle une chose qui ne l'est point. On peut donc dire que la simulation est l'étude du comportement dynamique d'un système, grâce à n modèle que l'on fait évoluer dans le temps en fonction de règles bien définies, à des fins de prédiction.

La simulation peut être aussi vue comme la conduite d'une expérimentation indirecte (sur le modèle et non sur le système), dans le but de comparer plusieurs façons de procéder. Elle ne résout pas le problème posé en trouvant la bonne solution. Elle aide seulement à prendre parmi plusieurs solutions la meilleure possible.

4.3 Étape de la simulation

Formation du problème

Cette étape consiste à identifier et à analyser le problème, on identifiant ses composantes, ses relations, les frontières entre le système et son environnement.

Formation des objectifs

Il faudra définir les objectifs visés par le projet de simulation. ceci comprend :

- Les questions auxquelles on devra apporter des réponses ;
- Les sorties attendues ;
- Les couts de l'étude ainsi que les temps requis.

Construction du modèle

Il s'agit de construire un modèle conceptuel qui est une abstraction du système réel. Ce modèle peut être vu comme un ensemble de relations mathématiques et logiques concernant les composants et la structure du système. Le concepteur se doit de refléter le système avec le plus de fidélité.

Collecte de données

Une fois le problème est formulé et les objectifs visés identifiés, il faudra établir un inventaire des besoins en données sur le système réel, puis de collecter ces données et les ajuster éventuellement a des probabilités connues en faisant appel à des tests statistiques adéquats.

Codage

Il s'agit de traduire le modèle conceptuel obtenu dans une forme acceptable par ordinateur (programme appelé aussi modèle opérationnel).

Vérification

L'étape de vérification est très importante dans tout projet de simulation. Elle concerne le modèle opérationnel (programme). Il s'agit de s'assurer que le modèle s'exécute sans erreurs.

Validation

La validation consiste a s'assurer que le modèle conceptuel est une représentation fidèle du système réel. Il s'agit de savoir si le modèle peut être substitué au système réel dans le but de l'expérimentation. Dans le cas ou le système existe, la façon idéale de valider le modèle conceptuel est de comparer ses sorties avec celle de système. Malheureusement, on n'a pas toujours cette possibilité, surtout dans les projets de conception de nouveaux systèmes.

Conception d'un cadre d'expérimentation

Il s'agit de définir pour chaque scénario devant être simulé ou expérimenté un certain nombre de paramètres, tels que : La durée de la simulation ; Le nombre des simulations à faire (réplication) ; L'état initial du modèle ; Les règles de gestion des files d'attente.

Exécution de la simulation et analyse des résultats

Le modèle opérationnel ou programmé est le support principal pour réaliser une simulation sur ordinateur. Il sera analysé et interprété par le simulateur qui délivre en sortie des résultats purement statistiques. L'analyse de ces résultats aura pour objectif d'estimer les mesures de performance des scénarios qu'on a expérimentés.

Exécution supplémentaire

Cette étape consiste a déterminer si d'autres simulations doivent être faites, si d'autres scénarios non prévus doivent être expérimentés afin de s'assurer que le modèle répond bien aux objectifs visés.

Documentation

La documentation est nécessaire pour différentes raisons :

- Aide à comprendre le fonctionnement du modèle ;
- Facilite toute modification ou mise à jour du modèle ;
- Permet de revoir toutes les alternatives prises en considération, les critères de comparaisons qui ont été utilisés. Ceci va aider dans la prise de décision qui sera principalement basée sur les résultats fournis par la simulation et rapportés dans la documentation.

Implémentation

L'objectif de toute simulation est de proposer pour un problème plusieurs solutions. Le choix de la meilleure solution devra être fait par l'analyse qui la justifiera dans la documentation.

4.4 Concepts liés a la simulation

Variation d'état

Les variables d'état d'un système sont toutes les informations nécessaire pour définir ou caractériser ce qui est entrain de ce passer de se passer dans le système a un niveau de détail suffisant et ce à un instant donné.

Entités

Les entités désignent des objets du système modélisé. Le terme en lui-même peut désigner aussi bien des objets passifs qui subissent des opérations et se déplacent en général dans le système (pièces, clients dans une banque, messages dans réseau,...).

Les ressources

Ce sont des objets qui exécutent des opérations et en général ne se déplacent pas dans le système (machine, opérateur, unité centrale,...) cependant, il faut noter qu'il est tout a fait possible de rencontrer en pratique des objets de type ressources qui se déplacent a l'intérieur du système tout en exécutant l'opération (chariot transportant une pièce dans un atelier).

Les attributs

Un objet (entité ou ressource) est caractérisé par un ou plusieurs attributs auxquels on peut affecter des valeurs. Ainsi, les attributs peuvent être considérés comme des variables locales a l'objet. On distingue cependant deux types d'attributs :

Fixes : contiennent les caractéristiques constantes de l'objet (durée de service, date d'arrivée dans le système,...).

Variables : contiennent les caractéristiques changeantes de l'objet (état d'une ressource, longueur de la file associée à une ressource,...).

Événement

Un événement est caractérisé par une date (date d'événement) à laquelle le système change d'état. On distingue les événements internes au système (endogènes) et externes (exogènes).

Activité

A chaque événement les objets concernés s'engagent dans les opérations. Ces opérations qui sont initiées (ou terminées) à chaque événement sont appelées des activités. Toute activité est

limitée à son début et à sa fin par un événement.

Processus

Un processus est le regroupement d'une séquence d'événement dans l'ordre chronologique dans lequel ces événements se produiront. Comme les événements peuvent initier des activités. Un processus peut inclure aussi des activités.

Contrôle du temps dans une simulation

Le contrôle du temps dans une simulation se fait principalement selon l'une des deux méthodes suivantes :

Méthode à pas constant (approche temps) : C'est une méthode simple et facile à programmer qui consiste à se fixer au début de la simulation une unité de temps δt avec laquelle on incrémentera l'horloge. A chaque incrémentation on cherche les événements qui peuvent se produire ou les activités qui peuvent démarrer dans le but de les traiter.

Méthode à pas variable (approche événement) : cette méthode est beaucoup plus économique en terme de temps de calcul. On répertorie dans un échéancier par ordre chronologique la liste des événements avec leurs dates d'assurance. L'incrémentation du temps de la simulation se fait d'une date d'événement à une autre. Cette méthode est de loin la plus fréquemment utilisées, vue son efficacité relative à la méthode à pas constant.

4.5 La simulation à événements discrets

La simulation à événements discrets désigne la modélisation d'un système réel tel qu'il évolue dans le temps par une représentation dans laquelle les caractéristiques du système réel (variables) ne changent qu'en un nombre fini ou dénombrable de points isolés dans le temps. ses principaux éléments sont :

1. Un descripteur des éléments de l'état du système sous-jacent nécessaire pour déterminer le déroulement de la simulation ;
2. Des compteurs et des places où seront stockés les résultats ;
3. Des échéancier pour engendrer les événements futurs ;
4. Les différents types d'événements, chacun avec sa description.

Il existe quatre méthodes de simulation à événements discrets. Chaque approche est caractérisée par une méthode différente pour faire progresser le système simulé dans le temps.

- Méthode basée sur les activités des événements " Approche activité" ;
- Méthode basée sur les activités des événements " méthode des trois phases" ;
- Méthode basée sur les activités des événements " Approche Événement".

4.5.1 Conclusion

En pratique, une simulation requiert un modèle simulé (également appelé le système d'intérêt), des modèles d'environnement et une plate-forme d'exécution (le moteur de simulation) qui va gérer le temps et les évolutions des modèles. D'où l'intérêt d'avoir un modèle adéquat qui répond le mieux aux besoins de notre simulation. Dans le chapitre 5, nous allons voir un modèle du système de débarquement, puis évaluer ses performances en utilisant l'approche événement discrets de simulation.

Modélisation et Simulation du Processus de Débarquement

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder la partie modélisation et simulation. Pour cela la construction d'un modèle mathématique qui reflétera au mieux le déroulement des différentes activités concernant le traitement des conteneurs plein, du quai de débarquement jusqu'au la SEP d'IOB (Zone Extra Portuaire Plein) est indispensable. Les files d'attente semblent être la méthode la plus adaptée à cette situation.

Ensuite, vu que l'étude analytique ne peut être effectuée sur ce modèle, nous allons utiliser l'approche simulation à événement discret, pour définir les différentes caractéristiques.

5.1 Collecte des données

La collecte des données est une étape très intéressante pour préciser les paramètres du modèle et attribuer une étude statistique, en s'appuyant sur l'information recueillie dans l'environnement du problème à résoudre. Pour réaliser notre travail, nous avons effectué une collecte de données nécessaires pour analyser le fonctionnement du processus de débarquement et d'évaluer ses performances. Lors de notre collecte de données, nous avons chronométré sur une période de plusieurs jours et à des différents moments de la journée durant les trois shifts (matin, soir et nuit), pour chacune des catégories des données suivantes :

- Concernant le processus de déchargement des conteneurs, nous avons chronométré la durée de transfert des conteneurs à bord du navire au quai par les deux grues de quai, à savoir le Quay Crane (QC) et la grue mobile (MHC) à des moments différents de la journée et pendant trois jours (vendredi, lundi, mercredi) ainsi que, le steacker en série avec la grue mobile.
- Les données que nous avons utilisés concernant les rotations des camions routiers. Ainsi que les durées entre deux arrivées au parc de la ZEP-Plein ont été obtenues de deux manières, la première chronométrée durant trois jours à des différents moments de la journée, vue le manque de données engendré, on a utilisé les données du service logistique de l'entreprise BMT.
- La durée de service des cinq camions portuaires a été chronométré pour les différents moments de la journée sur une période de plusieurs jours ainsi que la durée de service du steacker.

5.2 Description du modèle

Dans notre modèle, on a eu recours à plusieurs types de serveur pour modéliser et représenter au mieux les mouvements des conteneurs. Il est composé des différents processus, représentant les différents processus intervenants dans notre étude.

Station 1 :

Cette station représente le processus de débarquement avec le quay cranes (QC). Ce processus peut être décrit par un modèle de file d'attente avec un seul serveur de type G/G/1, le serveur étant le QC et une file d'attente à capacité illimitée et des camions remorqueurs routiers comme étant des clients. La discipline de service dans ce cas est FIFO.

Station 2 :

Cette station représente le processus de débarquement avec la grue mobile (MHC), peut être décrite par un modèle de file d'attente avec deux serveurs de type G/G/1 en série. Le premier étant la grue et le deuxième c'est le steacker qui charge les camions portuaire, une file d'attente à capacité illimitée et des camions remorqueurs portuaires comme étant des clients. La discipline de service dans ce cas est FIFO.

Station 3 :

Cette station représente le parc du terminal, organisé en 5 blocs, désignés par les lettres d'alphabets A, B, C, D et E. Chaque bloc est constitué de 56 piles (slots) et de 6 lignes (rows) et d'un gerbage de 6 niveaux maximum. D'une capacité de 10300 clients (EVP), ces derniers sont acheminés vers 8 serveurs différents disposés en parallèle, les serveurs sont les RTG's et les clients sont les cinq camions portuaires.

Station 4 :

Cette station comporte une seule file d'attente d'une capacité de 350 clients (EVP) qui représente le nombre maximum de conteneurs que peut contenir la zone réserve (tampon), ces derniers sont acheminés vers un seul serveur (steacker) de type G/G/1 qui s'occupe du déchargement des camions portuaires et le chargement des camions routiers ZEP-plein.

Station 5 :

Cette station représente une seule file d'attente d'une capacité de 1300 clients (EVP) qui représente le nombre maximum de conteneurs que peut contenir le parc ZEP-plein. Ces derniers sont acheminés vers un seul serveur (steacker) de type G/G/1 qui prend en charge le déchargement des camions remorqueurs routiers.

Station 6 :

Cette station se compose de douze serveurs identiques disposés en parallèle de type G/G/1/1, les serveurs étant les camions remorqueurs routiers qui font des rotations entre le port et la ZEP-plein.

Station 7 :

Cette station se compose de 5 serveurs identiques disposés en parallèle de type G/G/1/1 où les serveurs étant les camions portuaires qui font des rotations entre les différentes zones de port (terminal, tampon).

5.3 Le processus de débarquement

Le modèle dégagé de ce processus peut être représenté par le schéma suivant :

- St_1 = Le steacker de la Grue ;
- St_2 = Le steacker de la zone tampon ;
- St_3 = Le steacker de la ZEP ;
- S_i = La station numéro i.

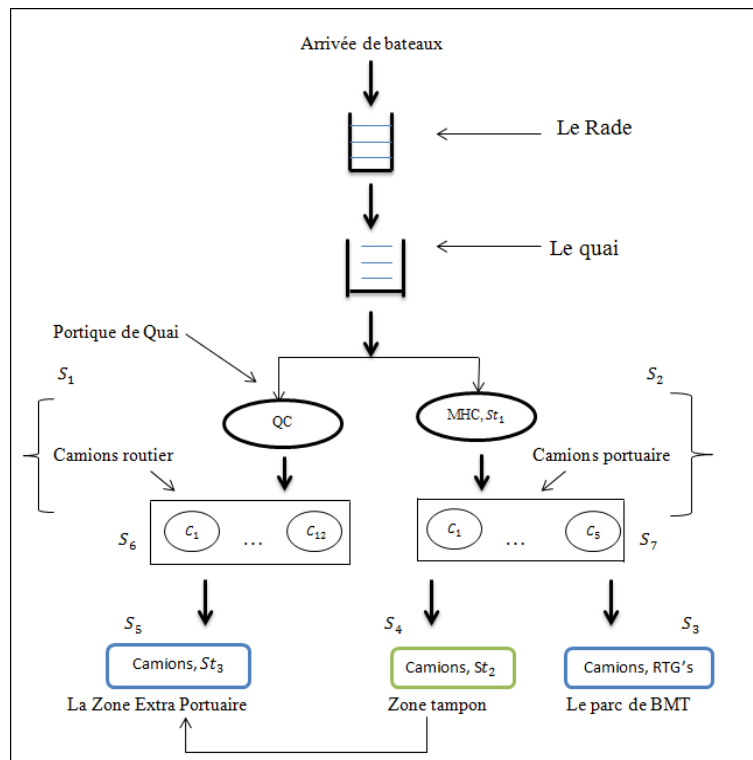


FIGURE 5.1 – Modèle du processus de débarquement

5.4 Identification des lois des processus intervenants

5.4.1 Identification de la loi de service des stackers (chargement d'un conteneur)

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un steacker pour charger un conteneur sur un camion.

Les résultats obtenues peuvent être représentés dans la figure 5.2 :

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (0,22557 ; 1,25143) | 0,799087 | (11,978 ; 1,2926) | (104 ; 0,012002) |
| Statistique | 0,104092 | 0,578111 | 0,109721 | 0,095841 |
| Décision | Acceptée | Rejetée | Acceptée | Acceptée |

TABLE 5.1 – Ajustement de la loi de service des stackers pour charger un conteneur au camion.

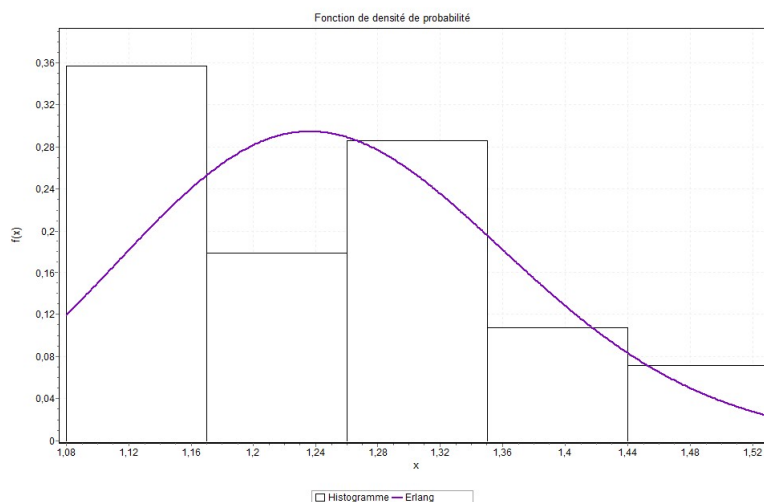


FIGURE 5.2 – Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des stackers pour charger un conteneur

Interprétation :

On accepte l'ajustement de la loi de la variable X par la loi Normal, de paramètre $m = 104$ et $\beta = 0,012002$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{28} = 0,24993$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

5.4.2 Identification de la loi de service des stacker pour décharger un conteneur sur un camion

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un stacker pour décharger un conteneur sur un camion.

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (0.479071 ,1.41945) | 0.704496 | (3.13498 , 1.57567) | (8 ,0.161688) |
| Statistique | 0.168738 | 0.439832 | 0.109721 | 0.226736 |
| Décision | Acceptée | Rejetée | Acceptée | Acceptée |

TABLE 5.2 – Ajustement de la loi de service des stackers pour décharger un conteneur au camion.

Les résultats obtenues peut être représentées dans la figure 5.3 :

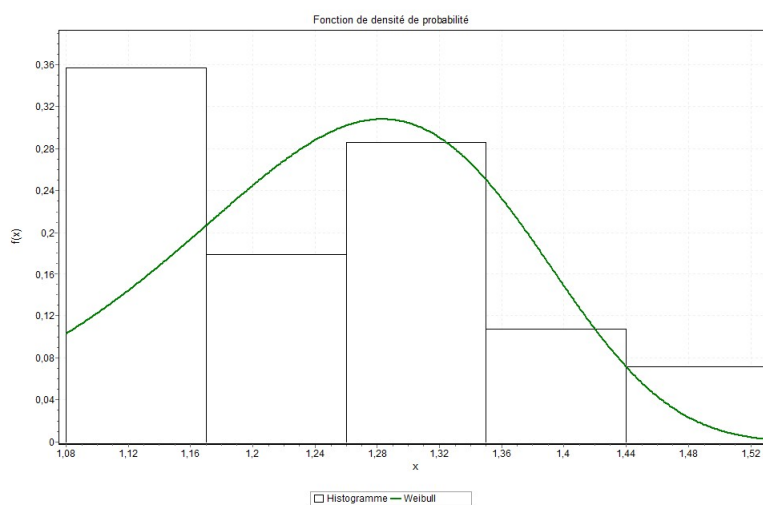


FIGURE 5.3 – Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des stackers pour décharger un conteneur

Interprétation :

On accepte l'ajustement de la loi de la variable X par une loi de Weibull, de paramètre $k = 1,5757$ et $\beta = 3,135$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{55} = 0,17981$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

5.4.3 Identification de la loi de service de la grue

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe la grue pour décharger un conteneur sur un navire.

Les résultats obtenues peut être représentées dans la figure 5.4 :

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (3.5274 ; 0.90789) | 0.28348 | (7.243 ; 3.5926) | (15 ; 0.23366) |
| Statistique | 0.03928 | 0.50632 | 0.16983 | 0.22885 |
| Décision | Rejetée | Rejetée | Acceptée | Acceptée |

TABLE 5.3 – Ajustement de la loi du service de la grue pour décharger un conteneur sur un navire.

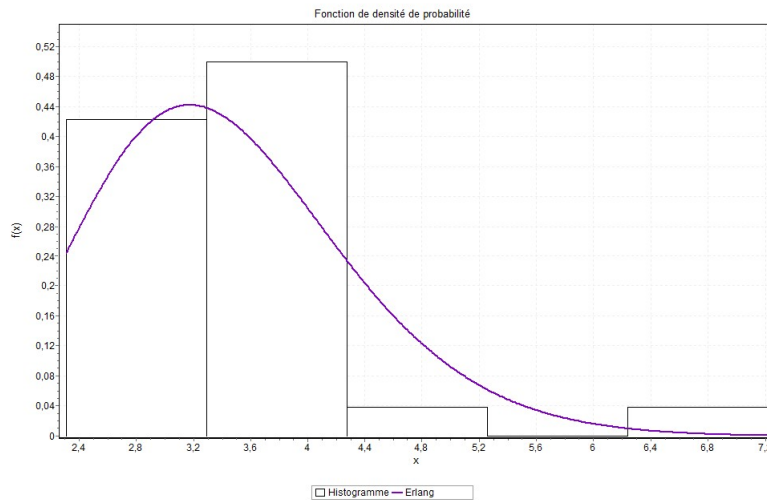


FIGURE 5.4 – Histogramme et Courbe de densité de la loi du service de la grue au débarquement

Interprétation :

On accepte l’ajustement de la loi de la variable X par une loi de Weibull, de paramètre $k = 6.6806$ et $\beta = 3.5595$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{26} = 0,25907$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

5.4.4 Identification de la loi de service du QC

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe le QC pour décharger un conteneur sur un navire.

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (2.28067 , 2.46214) | 0,40615 | (1.46836, 2.43656) | (1 , 2.11258) |
| Statistique | 0.26004 | 0.229347 | 0,180813 | 0.27289 |
| Décision | Rejetée | Acceptée | Acceptée | Rejetée |

TABLE 5.4 – Ajustement de la loi des durées de service du QC pour décharger un conteneur un navire.

Les résultats obtenues peut être représentées dans la figure 5.5 :

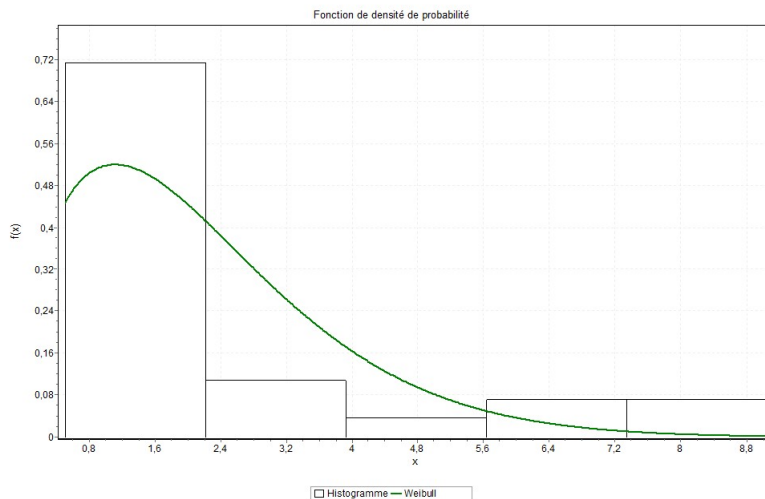


FIGURE 5.5 – Histogramme et Courbe de densité de la loi des durées de service du QC au débarquement

Interprétation :

On accepte l’ajustement de la loi de la variable X par une loi de Weibull, de paramètre $k = 1.46836$ et $\beta = 2.43656$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{28} = 0,24993$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

5.4.5 Identification de la loi du service des camions portuaires (Quai vers le parc)

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion pour transporter un conteneur vers le parc de stockage.

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (3.82979 ; 10.7945) | 0.09264 | (3.27133 ; 11.6608) | (7 ; 1.35878) |
| Statistique | 0.26004 | 0.229347 | 0.180813 | 0.27289 |
| Décision | Acceptée | Rejetée | Acceptée | Acceptée |

TABLE 5.5 – Ajustement de la loi du service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers le parc de stockage.

Les résultats obtenues peut être représentées dans la figure 5.6 :

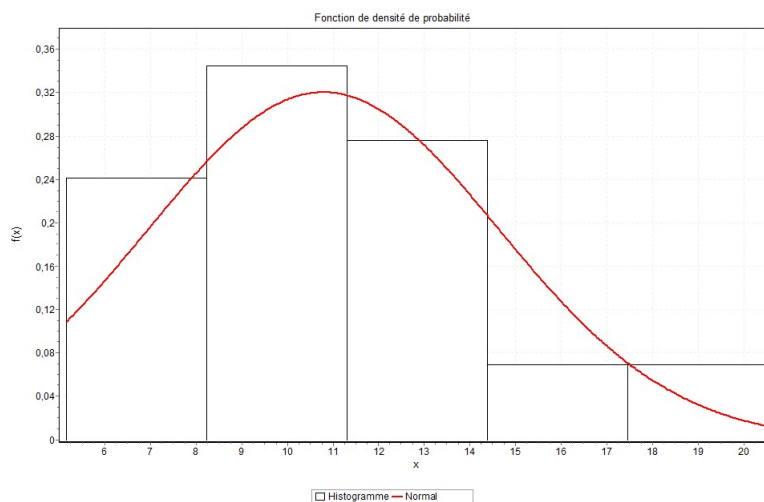


FIGURE 5.6 – Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers le parc de stockage

Interprétation :

On accepte l'ajustement de la loi de la variable X par une loi de Weibull, de paramètre $k = 3,27133$ et $\beta = 11,6608$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{29} = 0,24571$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

5.4.6 Identification de la loi de service des camions portuaires (Quai vers la Zone Tampon)

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion portuaire pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon.

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (2.94323 ; 21.828) | 0.045813 | (7.59643 ; 23.119) | (55 ; 0.396856) |
| Statistique | 0.181849 | 0.49977 | 0.147077 | 0.195034 |
| Décision | Acceptée | Rejetée | Acceptée | Acceptée |

TABLE 5.6 – Ajustement de la loi du service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon.

Les résultats obtenues peut être représentées dans la figure 5.7 :

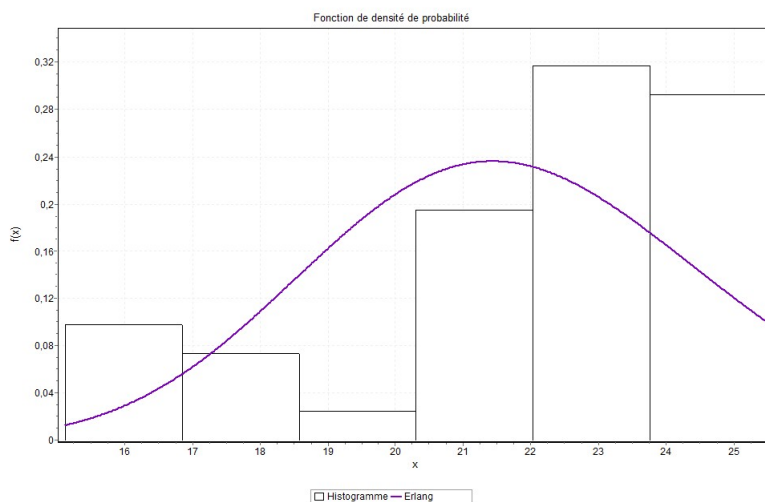


FIGURE 5.7 – Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon

Interprétation :

On accepte l’ajustement de la loi de la variable X par une loi de Weibull, de paramètre $k = 7.59643$ et $\beta = 23.119$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{41} = 0,2076$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

5.4.7 Identification de la loi de service des camions routiers (Quai vers la Zone Extra Portuaire Plein)

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion routier pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein).

| Lois | Normal (μ, σ) | Exponentielle (λ) | Weibull (k, β) | Erlang (m, β) |
|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Paramètre | (7.09028 ;50.4476) | 0.019823 | (8.04634 ;0.9171) | (50 ;0.99652) |
| Statistique | 0.093311 | 0.540055 | 0.095363 | 0.125063 |
| Décision | Acceptée | Rejetée | Acceptée | Acceptée |

TABLE 5.7 – Ajustement de la loi du service des camions routiers pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein).

Les résultats obtenues peut être représentées dans la figure 5.8 :

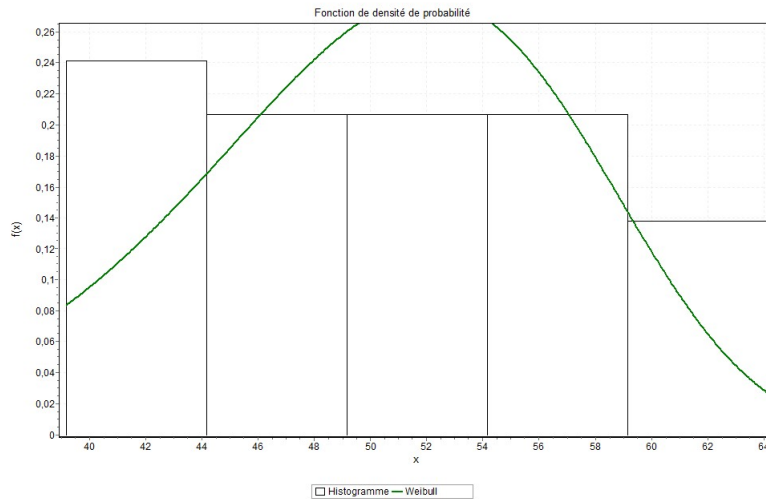


FIGURE 5.8 – Histogramme et Courbe de la loi de service des camions routiers pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein)

Interprétation :

On accepte l’ajustement de la loi de la variable X par la loi Normal, de paramètre $\mu = 7.09028$ et $\sigma = 50.4476$, car la valeur calculée est inférieure à la valeur tabulée qui est $D_{29} = 0,24571$ pour un seuil de confiance $\alpha = 0.05$.

Vue de la complexité du modèle retrouver l’évaluation des performances analytiquement s’avère difficile, pour cela on a opter pour l’approche simulation à événement discret.

5.5 Calcul des performances (temps moyen de séjour, taux de saturation) par la simulation

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

• **Durée moyenne d’une rotation :**

| | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
| Entre le Quai et parc de stockage | Entre le Quai et la zone tampon | Entre le Quai et la zone extra portuaire (plein) |
| 11.6511 min | 22.7281 min | 53.4423 min |

• **Durée moyenne de service de la grue, QC et steacker :**

| | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Durée moyenne de service de la grue | Durée moyenne de service du QC | Durée moyenne de service de steacker |
| 3.47808 min | 2.46214 min | 1.4516 min |

• **Nombre des EVP transportés vers la ZEP/mois :**

| Nombre des EVP transporté vers la Zone Extra Portuaire (plein) | Nombre des EVP transporté vers le parc de stockage | Nombre des EVP transporté vers la Zone tampon |
|--|--|---|
| 2964 | 6916 | 1337 |

• **Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :**

| |
|--|
| Durée moyenne des inter-arrivées des EVP |
| 5.2326 min |

• **Résultats numériques :**

| | |
|---|-----------|
| Nombre moyen d'EVP/Heure | 27 |
| Nombre des navires traités par Mois | 24 |
| Nombre moyen des EVP par navire | 380 |
| Le séjour moyen d'un navire dans le quai (débarquement) | 26 heures |

• **Pourcentage de taux de saturation du parc BMT :**

| |
|--------------------|
| Taux de saturation |
| 98.89% |

• **Temps moyen de séjour d'un navire au quai :**

| |
|-----------------------|
| Temps moyen de séjour |
| 24.18 heures |

| Tâche | Engin | Taux (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Livraison vers la ZEP | Camion routier | 75.35 |
| | Steacker (déchargement) | 38.61 |
| Transfert vers le parc de stockage | Camion portuaire | 55.34 |
| | Steacker (chargement) | 27.16 |
| Transfert vers la zone tampon | Camion portuaire | 69.78 |
| | Steacker (déchargement+chargement) | 63,91 |

TABLE 5.8 – Taux d'utilisation des engins (%).

Interprétation

Les résultats de la simulation montrent que la durée moyenne de service du Quay Crane (QC) est de 2.4621 minutes, la durée de service moyenne de la Grue Mobile (MHC) est de 3.4780 minutes, la durée moyenne de service du steacker est de 1.4516 minutes (chargement à quai et zone tampon) et la durée des inter-arrivées des EVP vers la ZEP est de 5.2326 minutes avec une durée moyenne de rotation des camions remorqueurs routiers de 53.4425 minutes inclut la durée de service du steacker au niveau de la ZEP plein (déchargement).

Pour les camions remorqueurs portuaires, la durée moyenne d'une rotation vers le parc du terminal est de 11.6511 minutes ainsi que de 22.7281 vers la zone réserve (tampon). Concernant

la répartition des conteneurs débarqués pour les différentes zones de stockage (mois), on a trouvé que, 2964 sont affectés est de vers la ZEP (plein), 6916 vers le parc de terminal et 1337 vers la zone tampon. Le temps moyen de séjour d'un navire au quai de débarquement est de 1.22182 jour avec un taux de saturation égale à 98.89%.

Ces résultats, à savoir le temps moyen de séjour d'un navire au quai et le taux de saturation du parc sont jugés importants par BMT. Pour améliorer ces deux performances, on a envisagé une étude prévisionnelle visant à étudier la variation des deux caractéristiques en fonction de la variation des paramètres.

5.6 Résultats de simulation en cas de variation des paramètres : Augmentation du trafic

5.6.1 Cas 1 : Augmentation de 10 % du trafic vers la ZEP (Plein)

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivantes :

- **Durée moyenne d'une rotation :**

| |
|--|
| Entre le quai et la Zone Extra Portuaire |
| 57.2113 min |

- **Durée moyenne de service de la grue, QC et steacker :**

| Durée moyenne de service de la grue | Durée moyenne de service de QC | Durée moyenne de service de steacker (déchargement) |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| 3.47808 min | 2.54132 min | 1,41945 min |

- **Nombre d'EVP transportés à la ZEP/mois :**

| Nombre des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) | Nombre des EVP transportés vers le parc de stockage |
|---|---|
| 3260.4 | 6224.4 |

- **Flot des Inter-arrivées des EVP à la ZEP :**

| |
|--|
| Durée moyenne des inter-arrivées des EVP |
| 5.2326 min |

- **Temps moyen de séjour d'un navire au quai :**

| |
|-----------------------|
| Temps moyen de séjour |
| 20.65 heures |

- **Pourcentage de taux de saturation du parc BMT :**

| |
|--------------------|
| Taux de saturation |
| 98.52% |

| Tâche | Engin | Taux (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Livraison vers la ZEP | Camion routier | 88.23 |
| | Steacker (déchargement) | 40.09 |
| Transfert vers le parc de stockage | Camion portuaire | 58.59 |
| | Steacker (chargement) | 30.79 |
| Transfert vers la zone tampon | Camion portuaire | 72.76 |
| | Steacker (déchargement+chargement) | 71.13 |

TABLE 5.9 – Taux d'utilisation des engins en cas de 10%.

5.6.2 Cas 2 : Augmentation de 30 % du trafic vers la ZEP (Plein)

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivantes :

- **Durée moyenne d'une rotation :**

| |
|--|
| Entre le quai et la Zone Extra Portuaire |
| 59.3113 min |

- **Durée moyenne de service de la grue, QC et steacker :**

| Durée moyenne de service de la grue | Durée moyenne de service de QC | Durée moyenne de service de steacker (déchargement) |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| 3.21112 min | 3.01422 min | 1,41945 min |

- **Nombre d'EVP transportés vers la ZEP/mois :**

| Nombre des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) | Nombre des EVP transportés vers le parc de stockage | Nombre d'EVP transportés vers la Zone Tampon |
|---|---|--|
| 3853.2 | 4841.4 | 2074.3 |

- **Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :**

| |
|--|
| Durée moyenne des inter-arrivées des EVP |
| 5.0827 min |

- **Temps moyen de séjour d'un navire au quai :**

| |
|-----------------------|
| Temps moyen de séjour |
| 17.66 heures |

- **Pourcentage de taux de saturation du parc BMT :**

| |
|--------------------|
| Taux de saturation |
| 97.79% |

| Tâche | Engin | Taux (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Livraison vers la ZEP | Camion routier | 89.99 |
| | Steacker (déchargement) | 61.22 |
| Transfert vers le parc de stockage | Camion portuaire | 59.33 |
| | Steacker (chargement) | 30.79 |
| Transfert vers la zone tampon | Camion portuaire | 72.76 |
| | Steacker (déchargement+chargement) | 77.13 |

TABLE 5.10 – Taux d'utilisation des engins en cas de 30% .

5.6.3 Cas 3 : Augmentation de 50 % du trafic vers la ZEP (Plein)

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

- **Durée moyenne d'une rotation :**

| |
|--|
| Entre le quai et la Zone Extra Portuaire (plein) |
| 60.5117 min |

- **Durée moyenne de service de la grue, QC et steacker :**

| Durée moyenne de service de la grue | Durée moyenne de service de QC | Durée moyenne de service de steacker(déchargement) |
|-------------------------------------|--------------------------------|--|
| 3.01136 min | 3.42422 min | 1,41945 min |

- **Nombre d'EVP transportés vers la ZEP/mois :**

| Nombre des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) | Nombre des EVP transportés vers le parc de stockage | Nombre d'EVP transportés vers la Zone Tompant |
|---|---|---|
| 4446 | 3455 | 3458 |

- **Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :**

| |
|--|
| Durée moyenne des inter-arrivées des EVP |
| 4.85275 min |

- **Temps moyen de séjour d'un navire au quai :**

| |
|-----------------------|
| Temps moyen de séjour |
| 17.24 heures |

- **Pourcentage de taux de saturation du parc BMT :**

| |
|--------------------|
| Taux de saturation |
| 97.05% |

La variation des TCs de la Zone Extra Portuaire peut être représenté par la figure 5.9 :

| Tâche | Engin | Taux (%) |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Livraison vers la ZEP | Camion routier | 93.23 |
| | Steacker (déchargement) | 61.22 |
| Transfère vers le parc de stockage | Camion portuaire | 61.31 |
| | Steacker (chargement) | 30.79 |
| Transfère vers la zone tampon | Camion portuaire | 74.23 |
| | Steacker (déchargement+chargement) | 86,21 |

TABLE 5.11 – Taux d'utilisation des engins en cas de 50%.

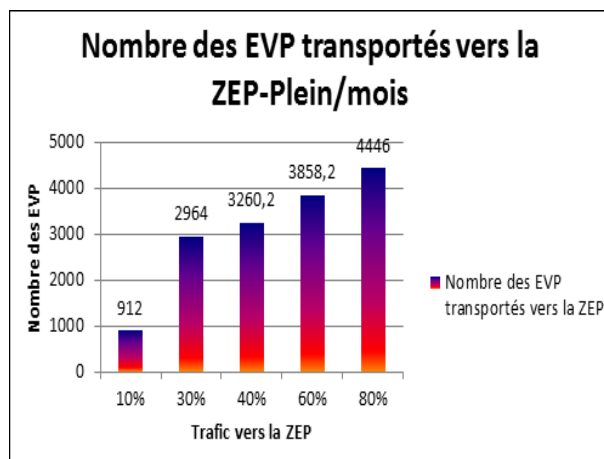


FIGURE 5.9 – Variation des TCs de la Zone Extra Portuaire

La variation du taux de saturation du parc (ρ), dépend sur plusieurs paramètres, nous on s'intéresse seulement sur la livraison vers les Zones Extras Portuaires, on a vue au-dessus que, le nombre des EVP qui ont transportés vers la Zone Extra Portuaires-plein, influence essentiellement sur la la capacite de parc de stockage et une fluidite dans la congestion . Pour ce là, on a résumé dans le tableau ci-dessous, toute les variations du taux de saturation (ρ) par navire, en fonction du pourcentage des EVP qui ont transportés vers la Zone Extra Portuaire-plein.

| Pourcentages transportés à la ZEP-plein | Diminution du Taux de saturation du parc (ρ) |
|---|---|
| 10% | - 0.36893 |
| 30% | - 1.1068 |
| 40% | -1.47573 |
| 50% | -1.84466 |
| 60% | -2.21359 |
| 80% | -2.95146 |

Cette table peut être représenté par la figure 5.10 :

Interprétation :

Il est qu'une augmentation du trafic vers la ZEP avec des équipements actuels entraîne une diminution du taux de saturation et du temps moyen de séjour du navire du prêt du quai.

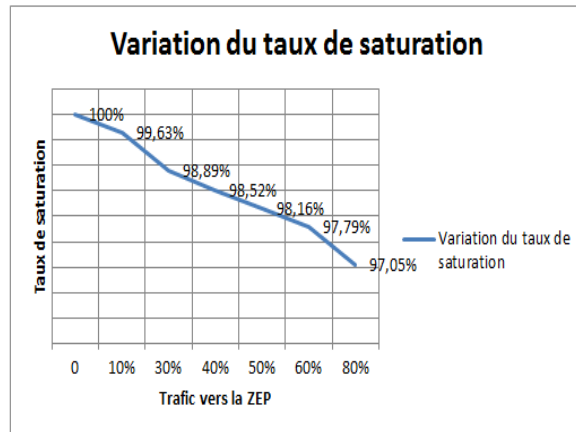


FIGURE 5.10 – La variation du taux de saturation du parc

Néanmoins, cette diminution pour le temps moyen de séjour n’est significative qu’à partir d’un taux de transfert vers la ZEP dépassant 50

Ceci est d’une part au service faible de la Grue composé avec celui du steacker, d’autre de du manque de camions. En effet, les camions 12 routiers doit dispose BMT commencent par transporter les conteneurs débarqués par le QC avant de s’occuper de ceux débarqués par la Grue c’est pour cette raison qu’on a envisagé une deuxième étude portant sur la variation du taux de saturation et le temps moyen de séjour en faisant varier le nombre de camions routiers.

5.7 Variations du nombres des camions routiers

5.7.1 Cas 1 : 15 Camions routiers

Les résultats obtenus sont résumé dans les tableaux ci-dessous :

- **Durée moyenne d’une rotation :**

| |
|--|
| Entre le quai et la Zone Extra Portuaire (Plein) |
| 58.0259 min |

- **Durée moyenne de service de la grue, QC et steacker :**

| Durée moyenne de service de la grue | Durée moyenne de service de QC | Durée moyenne de service de steacker (déchargement) |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| 3.21112 min | 2.80412 min | 1,30845 min |

- **Nombre des EVP transportés vers la ZEP :**

| Nombre des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (Plein) par mois | Nombre des EVP transportés vers le parc de stockage par mois | Nombre d’EVP transportés vers la Zone Tampon par mois |
|--|--|---|
| 2964 | 6916 | 1337 |

- **Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :**

| |
|--|
| Durée moyenne des inter-arrivées des EVP |
| 4.5747 min |

5.7.2 Cas 2 : 20 Camions routiers

Les résultats obtenus sont résumé dans les tableaux ci-dessous :

- **Durée moyenne d'une rotation :**

| |
|--|
| Entre le quai et la Zone Extra Portuaire (Plein) |
| 62.1008 min |

- **Durée moyen de service de la grue, QC et steacker :**

| Durée moyenne de service de la grue | Durée moyenne de service de QC | Durée moyenne de service de steacker (déchargement) |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| 3.21112 min | 2.59219 min | 1,53131 min |

- **Nombre des EVP transportés vers la ZEP :**

| Nombre des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) par mois | Nombre des EVP transportés vers le parc de stockage par mois | Nombre des EVP transportés vers la Zone Tampon par mois |
|--|--|---|
| 2964 | 6916 | 1337 |

- **Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :**

| |
|--|
| Durée moyenne des inter-arrivées des EVP |
| 3.4136 min |

5.7.3 La variation du temps moyen de séjour d'un navire et la durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP :

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 5.12 :

Cette table peut être représenté par la figure 5.11 :

| Nombre des camions routiers | Séjour moyen d'un navire au quai |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 12 | 24.18 |
| 13 | 23.05 |
| 14 | 22.19 |
| 15 | 21.16 |
| 16 | 20.39 |
| 17 | 19.54 |
| 20 | 18.32 |

TABLE 5.12 – La variation du temps moyen de séjour d'un navire.

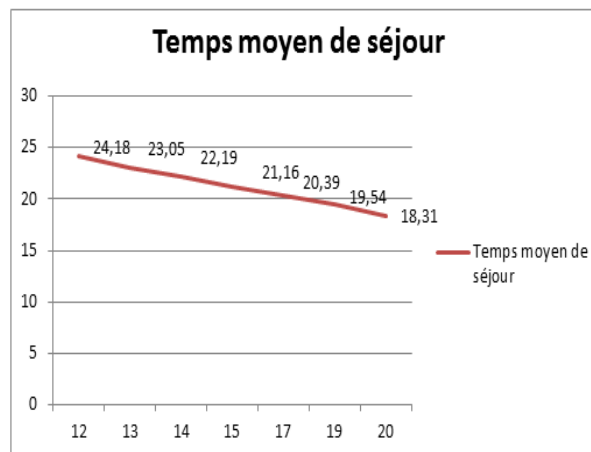


FIGURE 5.11 – Temps moyen de séjour d'un navire en fonction du nombre des camions routiers

Interprétation :

D'après la figure 5.11, on constate que le temps moyen de séjour d'un navire au quai décroît en fonction du nombre de camions routiers.

Variation de la durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP en fonction du nombres de camions routiers

Étant donné que le nombre d'EVP sortant du quai vers la ZEP fait diminuer sa saturation, chose qui est directement liée à la rapidité du service livraison de ces EVP vers ZEP, lui même lié au nombre de camions routiers l'effectuant, on a pensé à étudier la variation de la durée moyenne des inter-arrivées des EVP provenant du quai vers la ZEP en fonction du nombre de camions routiers. Les résultats obtenus sur les inter-arrivées des EVP à la ZEP sont résumés dans la table 5.13.

Cette table peut être représenté par la figure 5.12 suivante :

| Nombre des camions routiers | Durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP |
|-----------------------------|---|
| 12 | 5.23 |
| 13 | 5.01 |
| 14 | 4.48 |
| 15 | 4.25 |
| 16 | 4.11 |
| 17 | 3.56 |
| 20 | 3.33 |

TABLE 5.13 – Variation de la durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP en fonction du nombre de camions routiers.

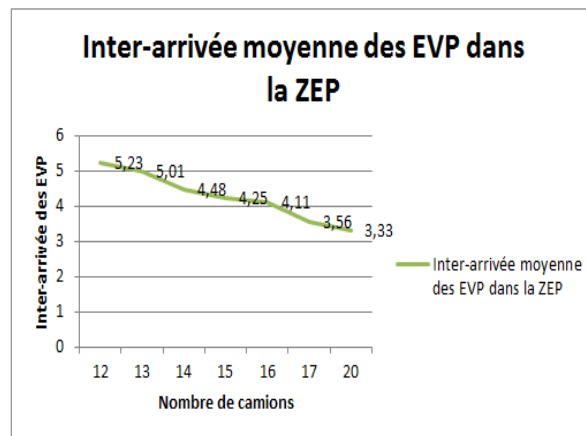


FIGURE 5.12 – Durrée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP

Interprétation :

Cette table nous montre qu’il y a effectivement une diminution dans la durées moyenne des inter-arrivées des camions routiers vers la ZEP en fonction de leurs nombre croissant. Ceci nous permet, après avoir calculé le nombre moyen d’EVP livrés vers la ZEP, de constater une diminution dans le taux de saturation. En effet, plus la durée moyenne des inter-arrivées est petite ; plus le nombre moyen d’EVP livrés vers la ZEP est grand se qui engendre la diminution dans le taux de saturation du parc.

5.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la variation des caractéristiques les plus importantes de notre système, à savoir le temps moyen de séjour d’un navire au quai et le taux de saturation en fonction du trafic des EVP livrés vers la ZEP ceci nous a montrés q’une augmentation du trafic engendre la diminution de ces caractéristiques. Comme le nombre d’EVP livrés vers la ZEP dépend de la qualité de service livraison liés au nombre du camions routiers l’effectuant, on a jugé utile de procéder à l’étude de la variation des deux caractéristiques choisies précédemment en fonction du nombre de camions routiers.

Les résultats obtenus, sont pour nous satisfaisant, du moment qu'une croissance dans le nombre de camions routiers engendre une diminution considérable dans le temps moyen de séjour d'un navire au quai et le taux de saturation du parc BMT.

Conclusion Générale

L'intérêt économique de l'escale est aujourd'hui le critère le plus incontournable dans l'évaluation de la performance d'un port. La productivité d'un port et la qualité de ses services sont liées à la rapidité des opérations physiques et administratives, et donc à la diminution du temps d'immobilisation des navires et des marchandises sur les quais. Lors de l'escale du navire, la marchandise va subir des mouvements (le débarquement et l'embarquement).

Notre étude s'est portée essentiellement sur l'entreprise BMT et plus précisément sur le processus de débarquement qui est un processus très important dans les opérations de manutention de quai aux zones de stockages. La fluidité de la congestion au niveau du terminal et le rôle des zones logistiques (ZEP-Plein d'IOB) paraît primordial dans calcul des performances. Pour ce faire, un a fait appel à la théorie des files d'attente modélisant les différentes opérations intervenantes dans le processus de débarquement des navires. Le modèle obtenu s'inscrit dans la catégorie des réseaux non markoviens et donc très compliqués. Ce qui fait défaut à l'approche analytique pour le calcul des caractéristiques désirées telles que le temps moyen de séjour d'un navire au quai et le taux de saturation du parc.

Pour pallier à ce problème, nous avons procédé par simulation au calcul de ces performances en utilisant l'approche événement discrets.

Les résultats obtenus nous ont montré que la capacité moyenne de la ZEP-Plein peut générer un gain de temps et d'espace en cadence productif soutenue par une performance assez acceptable des différentes stations du system (une fluidité du processus de débarquement). Pour chaque une des variations des paramètres (pourcentage du trafic vers la ZEP et camions routiers, les résultats obtenues montrent une variation considérable dans les performances et des solutions sont données aux deux phénomènes étudiés.

Dans cet exposé, nous avons traité la question de l'évaluation des performances de processus de débarquement soutenu par une Zone Logistique Extra Portuaire pour les conteneurs pleins en proposant trois types de modélisation.

Il serait intéressant de compléter ce travail, en traitant les points suivants :

- Vue la lenteur du service Grue, il est conseillé d'acquérir un QC remplaçant. A cet effet, on propose de refaire la même étude pour le système obtenu.
- La suite logique qui apparait pour ce travail est d'évaluer la productivité des navires en

incluant la variation des différents coûts (coûts d'attente, coûts de transports).

Bibliographie

- [1] A. AISSANI and D. AISSANI. Réseaux de files d'attente. U.S.T.H.B. Alger, 1988.
- [2] D. AISSANI, S. ADJABI, M. CHARFAOUI, T. BENKHELET and N. MEDJKOUNE. Prévission du trafic et Evaluation des Performances du terminal à conteneurs BMT. Séminaire de formation "Terminale Développement and Management", BMT édition, Béjaia, mars 2009.
- [3] N. AYACHE, R. HDIJA, D. AISSANI, and S. ADJABI. Evaluations des performances du parc à conteneurs de l'E.P.B. Mémoire d'ingénieur, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2011.
- [4] A. AMRI and Z. AKKOUCHE, Gestion Optimal des Equipements de Manutention au Niveau du terminal à Conteneurs BMT. Mémoire d'ingénieur, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2011.
- [5] Y. MAMMACHE and A. ZELLE. Evaluation des performances de la Zone Extra Portuaire BMT, Mémoire d'ingénieur, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2011.
- [6] S. HOCINE, N. ZAREB, D. AISSANI, and M. CHERFAOUI. Détermination du Nombre Optimal de camions Remorqueurs au Niveau du Terminal à Conteneurs BMT. Mémoire de fin d'étude, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, juin 2009.
- [7] N. AYACHE, R. HIDJA, D. AISSANI et S. ADJABI. Evaluations des performances du parc à conteneurs de l'E.P.B. Mémoire de fin d'étude, Département Recherche Opérationnelle, Université de Bejaïa, 2007.
- [8] R. SAIT, N. ZERROUGUI, D. AISSANI, S. ADJABI. Evaluation des performances du Terminal à Conteneurs BMT. Mémoire de fin d'étude, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2004.
- [9] K. BOUCHABEH. Cours de Simulation. 3ième année MA, Université de Béjaia, 2014/2015.
- [10] J. DUBREUIL. La logistique des terminaux portuaires de conteneurs. Centre inter-universitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport, Rapport interne, 2008.
- [11] S. FAVIER and C. SCAPEL. Les impacts de la conteneurisation sur la sécurité du transport maritime. Master Professionnel droit maritime et des transports, Faculté de droit et de science politique d'Aix-Marseille, 2006.
- [12] K. H. KIM and H. O. GÜNTHER. Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- [13] K. H. KIM and Y. M. Park. A crane scheduling methode for Port container terminals. In European Journal of Operations Research, volume 156, pages 752-768. 2004.

- [14] P. J. M. MEERSMANS and R. DEKKER. Operations research supports container handling. Rapport Technique EI 2001-22, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute, 2001.
- [15] V. M. RAJAONARISON. La Conteneurisation dans les Echanges Maritimes Internationaux. Mémoire Master 2, Université Paul Cezanne d'Aix-Marseille, 2005.
- [16] Le site. <http://www.containerinfo.net>.
- [17] Le site. <http://www.marfret.fr>.
- [18] L'ouvrage "Terminal à conteneurs portuaire". Information pratique, Edition CELSE Paris, 2004.
- [19] N. GASTON ROLAND. Le marquage sur un conteneur, Documents spécialisés MSC, juillet 2006.
- [20] P. Yver and F. Michel. Logistique. DUNOD, Edition 5, 2004.
- [21] MLTC/CATRAM. Portuaires à conteneurs en Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport final, 2013.
- [22] Le site de BMT. www.béjaiamed.com, 2015.
- [23] EPB, Rapport Annuel et Statistique, 2014.
- [24] www.portdebejaia.dz, 2015.

Résumé

L'amélioration de la desserte terrestre du port, ou encore le développement des zones logistiques et d'avant ports situés à l'intérieur ou même à l'extérieur de la circonscription portuaire sont donc aujourd'hui au cœur du rôle qui devrait être joué par l'Autorité portuaire. Il est à noter que les plateformes logistiques développées dans la majorité des ports visent non seulement à faciliter la transition des marchandises du port à l'arrière-pays et vice versa mais également et surtout de renforcer la valeur ajoutée des activités portuaires.

L'augmentation du trafic conteneurisé par an, par l'entreprise BMT est à l'origine de la création des ZEP (plein et vide) afin d'assurer une fluidité de congestion du terminal saturé par la lenteur des enlèvements due aux procédures. Dans cette situation les zones logistiques extra-portuaires s'affichent primordial dans la continuité compétitive de l'entreprise.

Pour pallier à ce problème une modélisation mathématique a été élaborée et les différents processus ont été décrits. Les résultats obtenus par l'approche simulation ont permis d'évaluer les performances des différentes stations étudiées dès le quai de débarquement jusqu'à la ZEP-Plein, en passant par le parc de terminal et la zone de transfert (tampon). La variation des performances a été dégagée en cas de variation des paramètres d'entrée.

Mots clés : Entreprise BMT, Conteneurisation, Modélisation, files d'attente, Simulation à évènement discrets, Evaluations des performances.
