

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ A.MIRA BEJAIA
Faculté des Sciences exacte
Département de la recherche opérationnelle



Mémoire de fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme de Master en recherche opérationnelle
Option : Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances des Réseaux

Thème

L'impact de l'extension du port sur les performances du terminal à conteneurs (BMT) via les RdP



Réalisé par :

- ✓ Boulghobra Amira
- ✓ Larbi Sabiha

Président du jury : M.Boualem

M.C.A

Université de Bejaia

Examineur : Y.Djabali

M.A.A

Université de Bejaia

B.Takhedmit

M.A.B

Université de Bouira

Promoteurs : M^r D.Aissani

Professeur

Université de Bejaia

M^{me} S.Hakmi

M.A.A

Université de Bejaia

Juin 2016

Remerciement

Nous remercions, au premier lieu, le bon Dieu, le tout puissant qui nous a donné le courage de mener à terme ce modeste travail Nous tenons également à exprimer mes remerciements les plus sincères et les plus profonds à :

Le professeur Djamil Aissani, mon promoteur, pour sa qualité d'encadrement, et sa disponibilité, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Madame Hakmi Sedda notre Co-promoteur, pour sa qualité d'encadrement, sa disponibilité, son soutien et ses orientations durant la réalisation de cette étude.

Nous remercions l'ensemble des membres de jury, qui nous a fait l'honneur, en acceptant d'examiner ce travail, notamment à : Monsieur M. Boualem président du jury, et à Madame Y. Djabali et Madame B. Takhedmite examinateurs, qui ont acceptés d'examiner ce travail.

Sans oublier l'ensemble du personnel du la BMT, en particulier monsieur Belaid Idir de nous avoir accordé l'accès à la BMT, le chef de département des opérations Monsieur Ziden Mebarek, Monsieur Rebbahi Abd Ennour chef de projet, Monsieur Bennane Omar, monsieur Dai de service de logistique, Madame Samira Madi, madame Mariem et monsieur Kheffache de la DDD à l'EPB.

En fin, je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de se travail. Merci

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chère parents ;
Ma grand mère Fatma ;
Mes frères Omar, Sofiane et Aziz ;
Mes soeurs Fatiha et Akila ;
Mes cousins, mes cousines, mes oncles, mes tantes ;
Tout mes amis Zakia, Lynda et Imen.

L.Sabiha

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma chère grande mère ;
Mes très chers parents ;
Toute ma famille ;
Tous mes amis ;
Tous ceux qui aime AMIRA.

B. AMIRA

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	ix
Liste des tableaux	x
Abréviations	x
Introduction Générale	1
1 La conteneurisation	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition d'un conteneur	3
1.3 Type des conteneurs	4
1.3.1 Les conteneurs dry	4
1.3.2 Les conteneurs ventilés	4
1.3.3 Les conteneurs open top	5
1.3.4 Les conteneurs flatrack	5
1.3.5 Les conteneurs frigorifiques	5
1.3.6 Les conteneurs citernes	6
1.4 Dimensions normalisée des conteneurs	6
1.4.1 L'unité de mesure EVP	7
1.4.2 Les dimensions	7
1.5 Identification internationale des conteneurs	8
1.6 Les normes de construction	9
1.6.1 Le plancher	9
1.6.2 L'armature	9
1.6.3 Le toit	10
1.6.4 Les pièces de coin	10
1.7 Les portes conteneurs	10
1.8 Les armateurs	11
1.9 les avantages de la conteneurisation	11
1.9.1 Les avantages	11

1.9.2	Les limites de la conteneurisation	12
1.10	Conclusion	12
2	Présentation de l'entreprise BMT (Bejaia Mediterranean Terminal)	13
2.1	Introduction	13
2.2	Situation géographique	14
2.3	Les lignes régulières	14
2.4	Mission et vision de la BMT	15
2.5	Le plan de la BMT	15
2.6	La capacité	16
2.7	Les principales activités de la BMT	16
2.7.1	Les opérations de la BMT	17
2.8	Equipements	18
2.9	Objectifs et atouts	19
2.9.1	Objectifs	19
2.9.2	Atouts	20
2.10	Organisation de l'entreprise BMT	21
2.10.1	Direction Générale (DG)	21
2.10.2	Direction des Ressources Humaines et Moyens (DRHM)	21
2.10.3	Direction des Opérations (DO)	22
2.10.4	Direction Marketing (DM)	22
2.10.5	Direction des Finances et de Comptabilité (DFC)	23
2.10.6	Direction Technique (DT)	23
2.11	La sécurité du terminal	23
2.12	La gestion informatique du terminal à conteneur.	24
2.12.1	Le CTMS (Container Terminal Management Système)	24
2.12.2	Le PDS (Position Determining System)	24
2.12.3	Le RDS : Radio Data System (SRF : Système Radio Fréquence)	25
2.12.4	L'OCR : Optical Character Recognition (ROC : Reconnaissance Optique de Caractère)	25
2.13	les procédures de BMT (l'import et l'export)	26
2.13.1	Définition de l'import et l'export	26
2.13.2	Les étapes de l'import et l'export	26
2.14	Projets d'investissement de la BMT	30
2.15	Position de problème	32
3	Méthodes d'évaluation de la performances	33
3.1	Introduction	33
3.2	Rôle et importance des indicateurs de performance.	33
3.3	Les Files d'attente	35
3.3.1	Identification et classification des systèmes d'attente	35
3.3.2	La Notation de Kendall-Lee	36
3.3.3	les différentes disciplines de service	36

3.3.4	Mesures de Performance	37
3.3.5	Formule de Little	38
3.4	Les file d'attente markoviennes	38
3.4.1	Le système M/M/1	38
3.4.2	Le système M/M/1/K	39
3.4.3	Le système M/M/ ∞	40
3.4.4	Le modèle d'attente $M^{[X]}/M/1$	40
3.5	Les files d'attente non markovien	40
3.5.1	Le système M/G/1	40
3.5.2	Le système G/M/1	41
3.5.3	Le système G/G/1	41
3.6	Les réseaux de files d'attente	41
3.6.1	Les réseaux de Jackson ouverts	42
3.6.2	Les réseaux de Jackson fermé	43
3.6.3	Les réseaux de files d'attente avec blocage :	43
3.7	Les Réseaux de Petri	44
3.7.1	Structure d'un réseau de Petri	44
3.7.2	Réseaux de Petri à arcs inhibiteurs	44
3.7.3	Marquage	45
3.7.4	Sensibilisation et franchissement	46
3.7.5	Marquage accessible	47
3.7.6	Conflit et parallélisme	48
3.7.7	Parallélisme structurel	49
3.8	propriétés	50
3.8.1	vivacité	50
3.8.2	Réseau borné	50
3.8.3	Réseau sans blocage	50
3.8.4	Graphe d'état	51
3.8.5	Graphe d'événement	51
3.9	Extensions des réseaux de Petri	52
3.9.1	Réseaux de Petri généralisés	52
3.9.2	Réseaux de Petri temporisés	52
3.9.3	Les réseaux de Petri temporels	54
3.9.4	Les réseaux de Petri stochastique	55
3.9.5	Les réseaux de Petri stochastique généralisé.	56
3.9.6	Réseaux de Petri stochastiques non markoviens	56
3.10	Conclusion :	56
4	Modélisation et simulation du processus de débarquement	58
4.1	Introduction	58
4.2	Les principaux mouvements des conteneurs	58
4.3	Identification des lois des durées de service des déferents engins :	60
4.3.1	Collecte des données :	60

4.3.2	Identification de la loi de la durée de service des steakers (chargement d'un conteneur sur un camion) :	62
4.3.3	Identification de la loi de la durée de service des steakers (déchargement d'un conteneur sur un camion) :	63
4.3.4	Identification de la loi de la durée de service de la grue :	64
4.3.5	Identification de la loi de la durée de service de QC :	65
4.3.6	Identification de la loi de la durée de service des camions portuaire (quai vers le parc) :	66
4.3.7	Identification de la loi de la durée de service des RTGs (déchargement d'un conteneur) :	67
4.3.8	Identification de la loi de la durée de service des RTGs (chargement d'un conteneur) :	68
4.3.9	Identification de la loi des inter-arrivées des groupes de conteneurs .	69
4.3.10	Identification de la loi de la durée de service des camions remorques routières (de parc vers la Zep vide) :	70
4.3.11	Description du modèle :	71
4.4	La modélisation du processus de débarquement et l'embarquement des conteneurs via les réseaux de Petri (RDP) :	72
4.4.1	La modélisation du système de débarquement des conteneurs avec les RdP.	73
4.4.2	La modélisation de processus d'embarquement des conteneurs avec les RdP.	75
4.5	Les résultats de la simulation et le calcul des performance :	76
4.5.1	Comparaison des résultats simulé et bilan de 1 ^{er} trimestre 2016 de la BMT :	78
4.5.2	Variation des paramètres :	78
4.6	Conclusion	81
	Conclusion Générale	82
	Bibliographie	84
	Résumé	86

Table des figures

1.1	Les conteneurs dry.	4
1.2	Les conteneurs ventilés.	4
1.3	Les conteneurs open top.	5
1.4	Les conteneurs flatrack.	5
1.5	Les conteneurs frigorifiques.	6
1.6	Les conteneurs citernes	6
1.7	Le marquage des conteneurs.	9
1.8	Exemple d'un porte-conteneurs.	11
2.1	Joint venture création de BMT.	13
2.2	Positon géographique de BMT.	14
2.3	Les lignes maritimes desservant BMT.	14
2.4	Plan de BMT et l'image avec Google maps.	15
2.5	Les équipements de BMT	19
2.6	structure d'organisation de la BMT.	21
2.7	Les procédures à l'import.	28
2.8	Les procédure à l'export.	30
3.1	Démarche d'évaluation de la performance d'un système.	34
3.2	Représentation d'une file d'attente.	35
3.3	Deux exemples de réseaux de files d'attente, l'un ouvert et l'autre fermé.	42
3.4	Un graphe à arcs inhibiteurs.	45
3.5	Exemple de marquage d'un réseau de Petri.	45
3.6	Exemple de franchissement.	46
3.7	Exemple de graphe des marquages accessibles d'un RdP.	47
3.8	Exemple de conflit structurel.	48
3.9	Exemple de conflit effectif.	49
3.10	RdP à structure parallélisme.	49
3.11	Graphe d'état.	51
3.12	Un graphe d'événement.	51
3.13	Réseau de Petri généralisé.	52
3.14	Réseau de Petri P-temporisées.	53
3.15	Réseau de Petri T-temporisées.	54

4.1	L'interface de EasyFite 5.6 la partie d'ajustement.	60
4.2	L'interface de EasyFit la partie qualité d'ajustement.	61
4.3	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service d'un steaker (chargement d'un conteneur sur un camion).	62
4.4	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service de steaker (déchargement d'un conteneur).	63
4.5	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service de la grue	64
4.6	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service de QC	65
4.7	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service des camions portuaire.	66
4.8	L'histogramme et la courbe de la densité de probabilité de la loi de la durée de service des RTGs (déchargement d'un conteneur).	67
4.9	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service des RTGs (chargement d'un conteneur sur un camion).	68
4.10	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi des inter-arrivées des groupes de conteneurs.	69
4.11	L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service des des camions remorques routières.	70
4.12	L'interface de logiciel GRIF.	72
4.13	La modélisation du processus de débarquement avec réseaux de Petri.	73
4.14	La modélisation du système d'embarquement avec réseaux de Petri.	75
4.15	Variations de taux de saturation du parc.	80

Liste des tableaux

1.1	Dimensions extérieures maximales d'un conteneur.	8
1.2	Dimensions intérieures minimales d'un conteneur.	8
1.3	Ouverture minimum des portes d'un conteneur.	8
2.1	Les caractéristiques des équipements de manutention de BMT.	18
4.1	Ajustement de la loi de service des steakers pour charger un conteneur sur un camion pour $\alpha=0.05$	62
4.2	Ajustement de la loi de service des steakers pour décharger un conteneur sur un camion pour $\alpha=0.05$	63
4.3	Ajustement de la loi de service de la grue pour $\alpha=0.05$	64
4.4	Ajustement de la loi de service de QC pour $\alpha=0.05$	65
4.5	Ajustement de la loi de service des camions portuaire pour $\alpha=0.05$	66
4.6	Ajustement de la loi de service des RTGs pour déchargert d'un conteneur pour $\alpha=0.05$	67
4.7	Ajustement de la loi de service des RTGs pour charger un conteneur pour $\alpha=0.05$	68
4.8	Ajustement de la loi des inter- arriver des groupes de conteneurs pour $\alpha=0.05$	69
4.9	Ajustement de la loi de service des camions remorques routières pour $\alpha=0.05$	70

Abréviations

BMT :Bejaia Mediterranean Terminal.

EPB :Entreprise Portuaire de Bejaia.

EVP :Equivalent Vingt Peids (TC 20 pieds).

QC :Quai Crane

RTG :Rubber Tier Guntry (Portique sur pneus).

CTMS :Container Terminal Managment System.

PDS :Position Dermining System.

OCR :Optical Character Recognition.

RDS :Radio Data System.

ZEP :Zone Extra Portuaire

ISO :Organisation Internationale de Normalisation

BIC :Bureau International des Conteneurs

IOB : Ighil Ouberouaq

RdP : Réseaux de Petri.

RdPS : Réseaux de Petri Stochastique.

RdPSG : Réseaux de Petri Stochastique Généralisé.

EXP : EXPonentiel.

GEN : GENerale.

Introduction Générale

Durant ces dernières années, les marchés ont fortement évolué et sont devenus concurrentiels, ce qui a engendré une évolution du commerce mondiale de marchandise et des échanges internationaux. En effet, l'enjeu principal des entreprises est de produire et de livrer leurs marchandises dans les meilleurs délais en réduisant les différents coûts et en satisfaisant les clients qui sont généralement séparés géographiquement et se situent de plus en plus loin des centres de livraison.

La conteneurisation participe à l'augmentation du trafic maritime mondial puisqu'elle rend plus facile le transport de tout types des marchandises à travers le monde entier. A cet effet, les ports maritimes ont connu de grands développements des techniques de manutention. Un terminal maritime à conteneurs est un système complexe se décompose en deux grandes zones, chacune étant caractérisée par ses propres opérations de manutention et ses équipements. En effet, dans la partie quai, les bateaux sont chargés/déchargés par des portiques de quai. Tandis que dans la partie terrestre, appelée encore la cour, cette zone possède comme équipements les portiques de cour. Un autre équipement, qui est le véhicule de transport, assure la liaison entre ces deux zones. Sa performance dépend de la pertinence des décisions, tant au niveau stratégique et tactique qu'opérationnel.

Le terminal à conteneurs de port de Bejaia, géré avec les Singapouriens de Portek dans le cadre de la société mixte, Bejaia Mediterranean Terminal, est une ouverture vers le partenariat étranger stratégique car elle vise à réhabiliter les ports. Cette joint-ventrue a enregistré en 2015, pour sa part, une hausse de 30% de son trafic avec un volume de plus de 151 000 EVP (Équivalent Vingt Pieds) et une part de marché en hausse à hauteur de 13% pour ce type de trafic [21].

Plusieurs études ont été faites pour la BMT dans le but d'évaluer ces performances. En effet, ces études modélisent le mouvement des conteneurs en incluant dans chaque étude l'amélioration de la structure du terminal à conteneurs. Toute ces études se base sur deux approches, les réseaux de file d'attente pour la modélisation et la simulation pour le calcul des performances du modèle. Dans certaine études ils ont utilisé les prévisions pour une étude prévisionnel des performances.

L'entreprise entend poursuivre en 2016 la concrétisation des différents projets d'in-

vestissement et de développement inscrits dans son programme notamment, la mise en exploitation des zones logistiques extra portuaires de TIXTER et d'IGHIL OUBEROUAK et la réalisation du poste 25 extension du poste 24. Cela conférera au port une nouvelle dimension, se voulant l'adéquation idoine pour la prise en charge effective et efficace du trafic portuaire [20,21].

Notre travail a pour principal objectif d'évaluer les performances du processus débarquement et d'embarquement du BMT avec cette extension qui permet au port de récupérer un nouveau poste à quai stratégique. En effet, dans un premier temps, nous avons proposé une modélisation du processus de débarquement et d'embarquement des conteneurs par les réseaux de Petri, où nous illustrons les différents mouvements des conteneurs ainsi que les liens existant entre les différentes opérations.

Dans un second temps, nous avons contribué à l'évaluation des performances de la productivité du terminal à conteneurs, en simulant le RdP obtenu afin de définir les différentes caractéristiques les plus importantes de notre système pour voir l'impacte du poste 25 sur les performances du système ainsi que sur la congestion de la rade et du terminal, auquel la BMT fait face.

Ce mémoire est composé :

- D'une introduction où l'idée générale du sujet à traiter est exposée.
- De quatre chapitres où le vif du sujet est traité.
 - Dans Le premier chapitre nous exposons les différents aspects techniques et pratiques de la conteneurisation.
 - Le deuxième chapitre est dédié à la présentation de BMT, ses structures, ses moyens et ses services.
 - Dans le troisième chapitre nous exposons quelques notions fondamentales des méthodes d'évaluation des performances, les système de files d'attente markoviennes, non markoviennes et les réseaux de Petri.
 - Dans le quatrième chapitre, nous dégagerons le modèle retenu pour modéliser le mouvement du débarquement et d'embarquement des conteneurs avec la nouvelle structure de la BMT puis évaluer ses performances via les réseaux de petri.
- Et on termine avec une conclusion.

Chapitre 1

La conteneurisation

1.1 Introduction

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

Le conteneur est l'aboutissement d'un effort d'unitarisation des charges (transport uni-modal) pour diminuer les ruptures de charge et favoriser le transport porte-à-porte. Ce moyen de transport réduit le prix, le temps et en accroît la qualité [5].

Dans ce chapitre, nous exposons les différents aspects techniques et pratiques de la conteneurisation.

1.2 Définition d'un conteneur

Le conteneur est un engin de transport, d'un caractère permanent et suffisamment résistant pour permettre un usage répété. Spécialement conçu pour faciliter le transport de marchandises, sans rupture de charge, par un ou plusieurs moyens de transports. Le conteneur est muni de dispositifs le rendant facile à manipuler, notamment lors de son transbordement d'un moyen de transport à un autre. Il est conçu de façon à être facile à remplir et à vider.

Les secs (dry) de vingt pieds ou quarante pieds sont les plus utilisés. Ils servent au transport des marchandises dites sèches, conditionnées en caisses, cartons, balles, palles, etc. Mais d'autres conteneurs plus spécifiques ont été créés comme les conteneurs citernes (tank container), les plein-ciel (open top) et les conteneurs frigorifiques (reefer). Le conteneur standard de vingt pieds sert d'unité de référence pour estimer la capacité d'un navire

[20].

1.3 Type des conteneurs

1.3.1 Les conteneurs dry

Ce sont des conteneurs conçus pour des marchandises générales conditionnées en cartons, futs 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 1.1).



FIGURE 1.1 – Les conteneurs dry.

1.3.2 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 les logerons. Ils servent pour le transport d'ail, oignons, cacao,... (Voir Figure 1.2).



FIGURE 1.2 – Les conteneurs ventilés.

1.3.3 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 1.3).



FIGURE 1.3 – Les conteneurs open top.

1.3.4 Les conteneurs flatrack

Ce sont les flats constitués d'une armature de base sans parois latérales qui sont utilisées comme plate forme de charge sur les navires pour le transport de marchandises fragiles et encombrantes (Voir Figure 1.4).



FIGURE 1.4 – Les conteneurs flatrack.

1.3.5 Les conteneurs frigorifiques

Ce sont des conteneurs thermiques qui sont munis de dispositifs de réfrigération et de chauffage par leur propre installation soit par l'installation du navire ou du terminal (Voir

Figure 1.5).



FIGURE 1.5 – Les conteneurs frigorifiques.

1.3.6 Les conteneurs citernes

Ce sont les conteneurs destinés au transport de liquide et substances gazeuses. Ils sont composés de la citerne de l'ossature (Voir Figure 1.6).



FIGURE 1.6 – Les conteneurs citernes

1.4 Dimensions normalisée des conteneurs

L'organisation internationale de normalisation a codifié sous les normes ISO 668 et ISO 1496 la construction des conteneurs. Les dimensions extérieures et intérieures des conteneurs, la largeur, la longueur, la hauteur et la masse maximum sont définis pour rendre le

conteneur le plus multimodale possible en offrant le volume maximum. Il faut qu'il puisse passer partout qu'il puisse être transporté indifféremment par la route, par train ou par bateau. Il doit donc s'intégrer dans les gabarits routiers et ferroviaires [21].

1.4.1 L'unité de mesure EVP

Du fait de l'existence de différents standards, l'unité de mesure de la conteneurisation est devenue l'EVP (équivalent vingt pieds). Les conteneurs des 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 2 EVP et un pied correspond à 304,8 mm.

1.4.2 Les dimensions

L'ISO permet standardiser la dimension des conteneurs en circulation dans le monde. Plusieurs sont en service mais certaines catégories tendent à disparaître laissant essentiellement la place aux conteneurs de 20 et 40 pieds. On trouvera aussi des conteneurs de normes supérieures comme :

- Les "high cubes" de hauteur de 2896 mm ;
- De façon plus rare, les "palets 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 ;
- Des 45 pieds qui ne pourront être mis qu'en pontée et en troisième plan de porte-conteneurs

Les dimensions des conteneurs 20 et 40 pieds seront résumées dans les tableaux Table 2.1 et Table 2.2, et l'ouverture minimums des portes dans le tableau Table 2.3 :

1 ft= 1 pied= 304.8 mm et 1 inch= 25.4 mm

type	longueur (mm) (ft)	largeur (mm) (ft)	hauteur (mm) (ft)
20 pieds	6058 19ft et 10.5inch	2438 8	2591 8ft et 6inch
40 pieds	12192 40	2438 8	2438 8ft et 6inch

TABLE 1.1 – Dimensions extérieures maximales d’un conteneur.

type	longueur (mm)	largeur (mm)	hauteur (mm)
20 pieds	5867	2330	2350
40 pieds	11998	2330	2350

TABLE 1.2 – Dimensions intérieures minimales d’un conteneur.

type	longueur (mm)	largeur (mm)
20 pieds	2286	2261
40 pieds	2286	2261

TABLE 1.3 – Ouverture minimum des portes d’un conteneur.

1.5 Identification internationale des conteneurs

Il existe une numérotation systématique de tous les conteneurs pour le transport des marchandises, ce système de condition comprend des chiffres et des lettres qui sont indiqués sur la porte du conteneur.

Le Bureau International des conteneurs et du Transport Intermodal (BIC) a proposé dès 1969 un code d’identification internationale. Ce code a été normalisé par l’ISO sous la dénomination de ISO 6346-conteneurs pour le transport de marchandises-codage, identification et marquage [20].

Exemple de code ISO [5] :

chaque conteneur est repéré par un numéro d’identification qui lui est tout au long de son existence. Ce numéro est constitué :

- **Code de propriétaire ou opérateur** : Est composé de quatre lettres majuscules l'alphabet latin, il est recommandé que le dernier soit U qui signifie : Unité.
- **Numérisation de séries** : Il consiste en six chiffres choisis par propriétaire du conteneur, si le nombre de chiffres n'atteint pas six, ils doivent être précédés d'un ou plusieurs zéro, de façons à obtenir un totale de 06 chiffres.
- **Le chiffre d'autocontrôle** : Destiné à validé l'exactitude de l'enregistrement et la transmission de données. Il est inscrit à l'intérieur d'un rectangle.
- **Le code de dimension de type** : Ce code se compose de quatre chiffres indiquant les caractéristiques principales des conteneurs.
- **Le code de pays** : Ce chiffre se compose de deux ou trois lettres majuscules de l'alphabet correspondant au pays ou le code du propriétaire est enregistré.

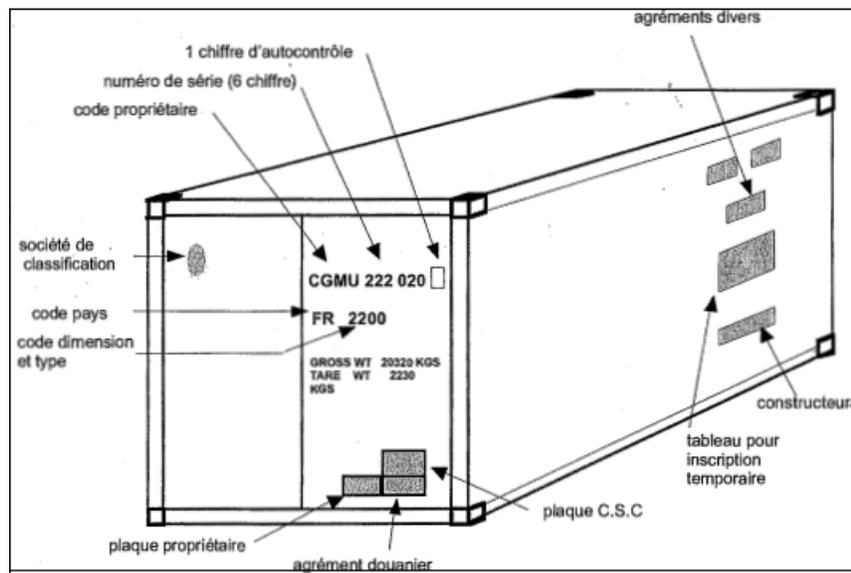


FIGURE 1.7 – Le marquage des conteneurs.

1.6 Les normes de construction

1.6.1 Le plancher

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

1.6.2 L'armature

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

du conteneur.

1.6.3 Le toit

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

1.6.4 Les pièces de coin

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

1.7 Les portes conteneurs

Les portes conteneurs, désignés également par le terme anglais de "Cellular Ships" sont pourvus de cales, munies de glissières (Cells) et sont dotés de systèmes particuliers de saisissage et d'arrimage en cellules. plusieurs générations se sont succédées depuis le premier porte conteneurs "The Ideal X", inauguré en 1956. Dans les années 1970, la taille moyenne des portes conteneurs était de 2000 EVP. Une trentaine d'années plus tard, nous en sommes à la moyenne de 6000 EVP. Certes, la catégorie dominante reste celle des navires entre 1000 et 3999 EVP car ils sont indispensables pour le transbordement, les liaisons régionales et certaines routes intercontinentales. Néanmoins, on assiste actuellement à des commandes de navires de plus en plus gigantesques.

le canal de Panama a toujours été la référence en matière de taille de navire. Dans les années 80, on distinguait les Panamax par leur gabarit qui de pouvait dépasser la largeur du canal de Panama (maximum de 32,26m). Au cours des années 90, on assistait à l'émergence des Overpanamax (42,80m de largeur) pouvant contenir jusqu'au 8000 EVP et cela semble dérisoire devant les projets de plus de 10000, voire 12000 à 18000 EVP qui sont actuellement développés (annoncés vers 2010) avec les Malaccamax par référence au détroit de Mallaca. La flotte de porte conteneurs représente aujourd'hui 89% du transport maritime de ligne [5].



FIGURE 1.8 – Exemple d'un porte-conteneurs.

1.8 Les armateurs

L'armateur "arme" le navire, c'est-à-dire qu'il met à disposition un équipage, fournit le matériel, le ravitaillement, tout ce qui est nécessaire à l'expédition maritime.

Il n'est pas nécessairement le propriétaire du navire.

C'est généralement lui qui choisit la Société de classification qui inspectera le navire afin de garantir qu'il est conforme à un certain nombre de normes.

1.9 les avantages de la conteneurisation

1.9.1 Les avantages

1. Du point de vue du transporteur

- Réduction du temps d'escale des navires ;
- Limitation des pertes d'espace de navire ;
- Réduction des couts de manutention ;
- Accroissement du nombre de rotations des navires ;
- Limitation des dommages ;
- Réduction des couts de l'assurance.

2. Du point de vue chargeur

- Limitation des ruptures de charge ;
- Sécurité et confort de la marchandise ;
- Réduction des couts de manipulation ;
- Limitation des vols et avaries ;
- Économise sur l'emballage ;
- Réduction des couts de l'assurance ;

- Rapidité de livraison ;
- Service de porte à porte.

3. Du point de vue de port

- Meilleure organisation portuaire ;
- Sécurité de la marchandise ;
- Réduction du temps d’escales.

1.9.2 Les limites de la conteneurisation

Il faut que le produit soit sensible aux avantages de la conteneurisation. Cela revient donc au trafic riche qui craint la casse, le vol, etc. Mais il semble aujourd’hui que ces limites soient de plus en plus théoriques. La seule limite est aujourd’hui d’ordre pratique : les caractéristiques des marchandises doivent correspondre à celles d’un conteneur (poids/volume/ dimensions) pour obtenir un coefficient de remplissage optimum. Mais certains fournisseurs adaptent déjà leurs produits (et leurs emballages) à la conteneurisation ... ou les conteneurs aux produits. Par contre les contraintes physiques aussi bien dans des transports courts que sur longues distances nécessitent un minimum de protection préventive. En effet, des températures élevées ainsi que la ventilation réduite dans le conteneur entraînent très souvent de lourds dommages si l’on n’y prend pas garde. La température provoque la dessiccation des marchandises (ex : cacao) ou des emballages (carton, bois d’arrimage ou de calage, bois de palettes). La vapeur d’eau une fois libérée se condense dans les zones les plus froides du conteneur et en général lors de l’alternance jour-nuit. C’est alors une pluie qui semble retomber sur les marchandises, avec des dégâts irrémédiables faciles à imaginer [5].

1.10 Conclusion

La conteneurisation est développée durant ces vingt dernières années. Le conteneur est un moyen de transport qui a permis de réduire les coûts et les délais grâce à la standardisation. Le secteur maritime et logistique fut caractériser par la globalisation du commerce mondial. Il est cependant demandé de mettre au point de navires spécialisés, en constante évolution en taille et en techniques d’arrimage, la réalisation des terminaux (ports) adaptés aux conteneurs et de matériels de manutention spécialisés (portiques et engins divers) ainsi que le développement du parc à conteneurs.

Chapitre 2

Présentation de l'entreprise BMT (Bejaia Mediterranean Terminal)

2.1 Introduction

Bejaia Mediterranean Terminal (BMT) est une société par action de droit Algérien. Elle a été créée sur décision du conseil des participations de l'état (CPE) en mai 2004. Elle est exploitée depuis juillet 2005 pour la conception, le financement, l'exploitation et l'entretien d'un terminal à conteneurs et la réalisation d'un centre de formation.

Le terminal à conteneurs Bejaia a vu le jour avec la jointe venture entre l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB) à 51% et (PORTEK) une société Singapourienne à 49%. EPB est l'autorité portuaire qui gère le port de Bejaia et PORTEK est un opérateur de Terminaux à conteneurs présent dans plusieurs ports dans le monde, spécialisé dans la rénovation des équipements portuaires.

BMT est une entreprise prestataire de services spécialisée dans le fonctionnement, l'exploitation et la gestion de terminal à conteneurs. Pour atteindre son objectif, elle s'est dotée d'un personnel compétent formé dans les opérations de gestion du terminal. Elle dispose d'équipements des plus perfectionnés de qualité, d'efficacité et de fiabilité [15].

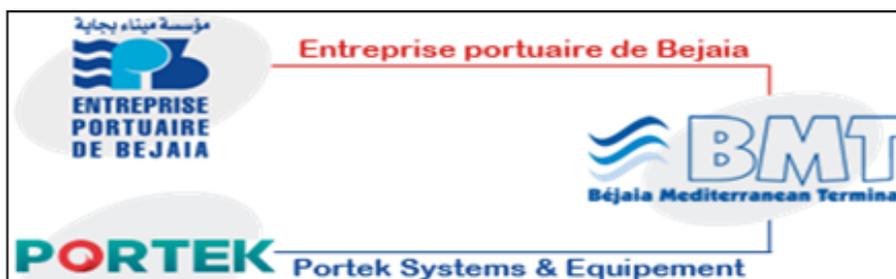


FIGURE 2.1 – Jointe venture création de BMT.

2.2 Situation géographique

Implantée au centre du pays, au coeur de la méditerranée dans le nord du continent africain, le port de Bejaia occupe une situation géographique stratégique. Elle se situe à une attitude de $36^{\circ}45/24$ et une longitude de $5^{\circ}05/05$. Elle dessert un hinterland important et très vaste. La ville, le port et le terminal à conteneurs de Bejaia disposent de ce fait de voies de communications reliant l'ensemble des routes du pays, les voies ferroviaires et à proximité d'un aéroport international [15].



FIGURE 2.2 – Positon géographique de BMT.

2.3 Les lignes régulières

Le port de Bejaia est desservi par plusieurs lignes maritimes régulières provenant de divers ports européens[15].



FIGURE 2.3 – Les lignes maritimes desservant BMT.

2.4 Mission et vision de la BMT

L'activité principale de la BMT est le suivi, la gestion et l'exploitation du terminal à conteneurs. BMT a pour mission principale de :

- Traiter dans les meilleures conditions de délais, de couts et de sécurité, l'ensemble des navires porte conteneurs et des conteneurs.
- manutentionner sur navire aussi bien le chargement et le déchargement des conteneurs et leurs entreposage dans les zones de stockage.
- Le service d'aconage sur les aires spécialisées ainsi que leurs livraisons.
- Le déchargement des céréales selon les capacités de la BMT.

Pour Faire du Terminal à Conteneur de BMT un terminal aux normes internationales pouvant rivaliser les terminaux les mieux gérés du monde assurant une productivité et une rentabilité garantissant son succès et sa pérennité.

La BMT vise a Développer et gérer le meilleur Terminal à Conteneurs d'Algérie où l'intégrité, la Productivité, l'innovation, la Courtoisie et la Sécurité sont de rigueur afin de garantir à nos clients les meilleurs prestations de service à des coûts adéquats tout en assurant un des meilleurs environnements de travail pour nos employés, et un bon retour sur investissement aux Actionnaires de l'entreprise.

2.5 Le plan de la BMT



FIGURE 2.4 – Plan de BMT et l'image avec Google maps.

2.6 La capacité

Quais pour Accostage :

longueur	500 m
profondeur	12 m
superficie	60 h
Nombre de postes	04

Parc à Conteneurs Vides :

Capacité	900 EVP
Superficie	15 200 m^2

Parc à Conteneurs Reefers :

Capacité	500 Prises
Superficie	2 800 m^2

Parc à Conteneurs Pleins :

Capacité	8 300 EVP
Superficie	78 500 m^2

Zone Pour Empotage et Dépotage :

Capacité	600 EVP
Superficie	3 500 m^2

Le Parc à Conteneurs :

Capacité	10 300 EVP
Superficie	100 000 m^2

Zone Extra-Portuaire (à 3 Km du Port) :

Capacité	5 000 EVP
Superficie	50 000 m^2

2.7 Les principales activités de la BMT

Le terminal à conteneurs BMT reçoit annuellement un grand nombre de port conteneurs à traiter, pour lesquels elle assure des opérations de planification, de manutention et d'aconage avec un suivi et une traçabilité des opérations.

2.7.1 Les opérations de la BMT

Le mot " opération " renvoie à toute activité ou mouvement. Dans cette étude, il s'agit bel et bien des activités portuaires :

a- Opération planifications :

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

b- Opération 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.

c- Opération d'acconage

- Transfert des conteneurs vers les zones d'entreposage ;
- Transfert des conteneurs frigorifiques vers la zone "reefer " ;
- 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.

2.8 Equipements

BMT est le seul terminal à conteneurs en Algérie à être suffisamment équipé en moyens et matériels spécialisés (Quai crane, grue, RTG,...), de manutention et de levage qui réduisent les temps d'escale permettant de répondre aux attentes et aux exigences des opérateurs. Un terminal à conteneurs peut utiliser différents types d'équipements pour assurer les opérations de manutention des conteneurs.

Qc pour charger et décharger les navires	Nombre :02 Tonnage :40 tonnes Type : Pnamax
RTG pour roulant pneumatiques	Nombre :08 Tonnage :36 tonnes Type : Ruber Type Gantry
Camio Remorque Routière	Nombre :30 Tonnage :60 tonnes Type : 24 MAN ,6 DEWOO
Camio Remorque Portuaire	Nombre :16 Tonnage :60 tonnes Type : MOLS
Chariot élévateurs	Nombre :11 Tonnage :5 ,10 ,28 tonnes Type : Forklifts
Steaker	Nombre :09 Tonnage :36 tonnes Type : Reache steaker
Spreader	Nombre :10 Tonnage :10 tonnes Type : Empty container
Grues : MHC , LHM	Nombre :02 Tonnage :100 tonnes Type : Post Panamax

TABLE 2.1 – Les caractéristiques des équipements de manutention de BMT.

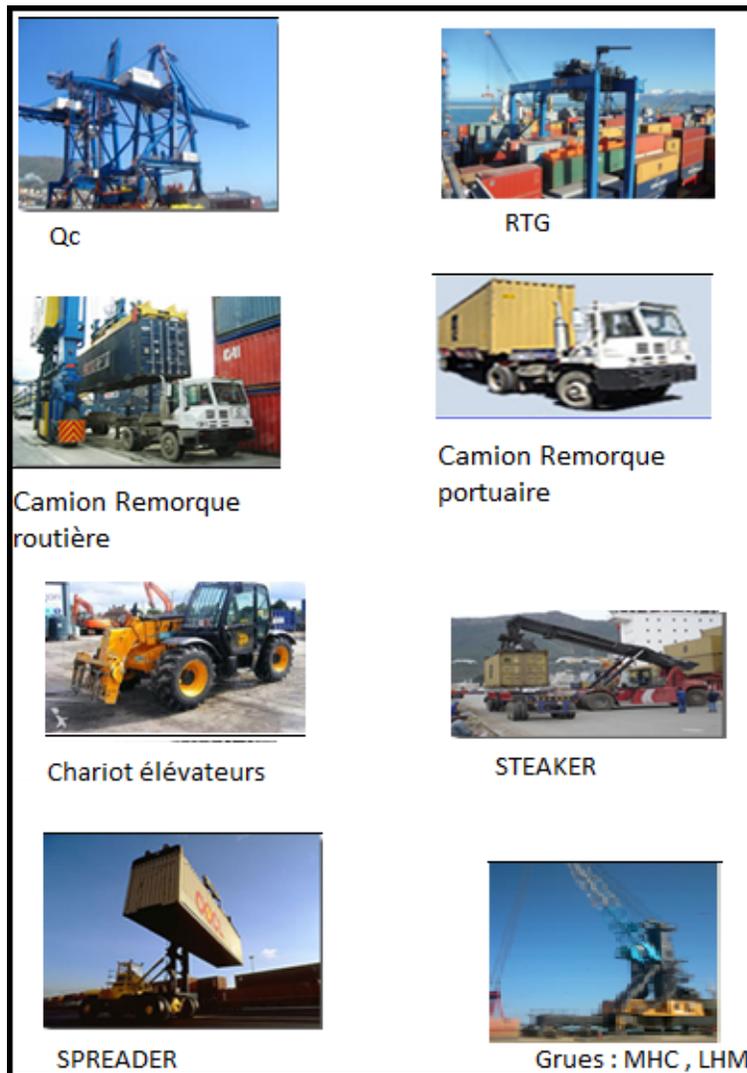


FIGURE 2.5 – Les équipements de BMT

2.9 Objectifs et atouts

2.9.1 Objectifs

L'activité principale de BMT est la gestion et l'exploitation du Terminal à conteneurs. Sa mission principale est de traiter dans les meilleures conditions de délais, de coûts et de sécurité, l'ensemble des opérations qui ont rapport avec le conteneur. Pour ce faire, elle s'est dotée d'équipements performants et de systèmes informatiques pour le support de la logistique du conteneur afin d'offrir des services de qualité, efficaces et fiables pour assurer

une satisfaction totale des clients.

BMT veille au développement et à la gestion de son terminal à conteneurs où l'intégrité, la productivité, l'innovation, la courtoisie, et la sécurité sont de rigueur. BMT est constamment soucieuse des intérêts de ses clients avec lesquels elle partage le souci de performance et de coût. Elle met à la disposition de ses clients des ressources humaines et des moyens nécessaire pour optimiser sa productivité et atteindre des niveaux de performance concurrentielle.

2.9.2 Atouts

BMT met à la disposition de ses clients une technologie et un savoir-faire dans le traitement du conteneur pour leur assurer :

- Une rade et un port non congestionné.
- Un tirant d'eau d'au moins de 12 m.
- Des quais spécialisés pour le conteneur.
- Un personnel bien formé et motivé.
- Des moyens modernes pour une meilleure productivité.
- Des temps d'escale très réduits.
- Un guichet unique pour faciliter les procédures de transit en douane.
- Une traçabilité du conteneur pour un enlèvement rapide.
- Une courtoisie et une qualité d'engagement pour la clientèle.
- Une organisation de transport du conteneur de bout en bout.
- Une capacité de stockage importante.
- Des installations spécialisées pour les reefers et les produits dangereux.
- Terminal entièrement sécurisé contre le vol et toute autre infraction.
- Une interface directe avec les consignataires et les transitaires via EDI.

2.10 Organisation de l'entreprise BMT

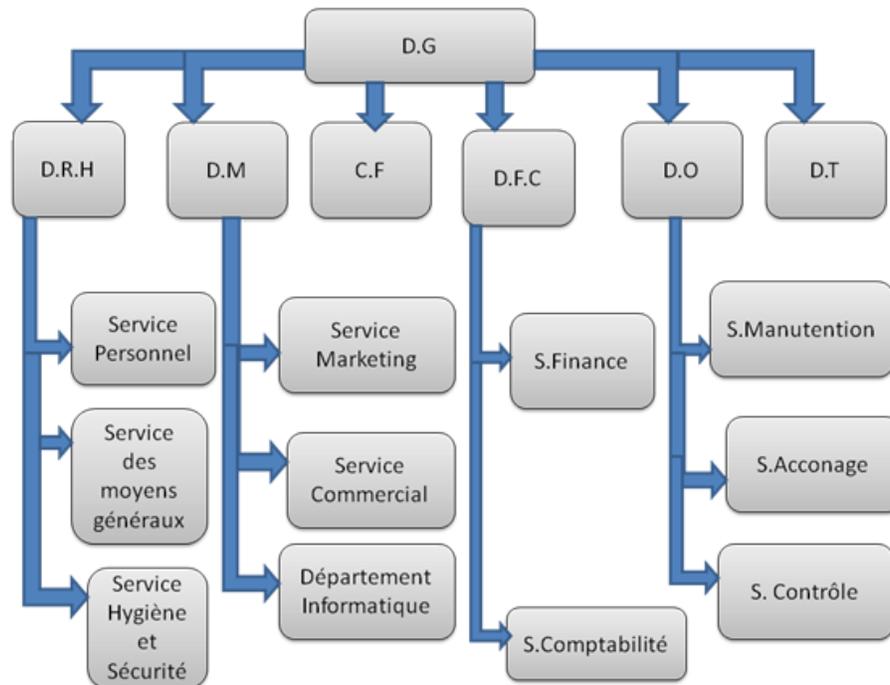


FIGURE 2.6 – structure d'organisation de la BMT.

2.10.1 Direction Générale (DG)

A sa tête le directeur général qui gère l'entreprise, a le pouvoir de décision, administre l'entreprise, assigne des directives pour les différents structures et fait la liaison entre les directions de l'entreprise.

- **Cellule d'Audit et Contrôle de Gestion** : Assure le suivi et l'audit des procédures et la veille réglementaire.
- **Cellule Sécurité** : Assure la sécurité de la marchandise, du parc à conteneurs et la propreté de l'entreprise et de son environnement.
- **Cellule QHSE** : Assure la mise en œuvre et suivi du plan QHSE de l'entreprise.

2.10.2 Direction des Ressources Humaines et Moyens (DRHM)

- **Service RH** : Mettre en œuvre des systèmes de gestion intégrés à la stratégie de l'entreprise et qui traduisent une adéquation entre les impératifs économiques et les

attentes du personnel. Pour cela la véritable importance de cette structure réside dans la recherche de meilleur potentiel, le conservé on lui offrant les meilleurs conditions (salaire, climat de travail et environnement) et de le développer avec des formations.

- **Service achats et projets généraux** : Chargé des achats et de la gestion des stocks de l'entreprise.

2.10.3 Direction des Opérations (DO)

Assure la planification des escales, de parc à conteneurs et la planification des ressources ; équipes et équipements. Elle prend en charge les opérations de manutentions, comme la réception des navires porte conteneurs et leurs chargement et déchargement. Elle suit également les opérations de l'aconage tel que : le suivi des livraisons, dépotages, mise a disposition des conteneurs vides, traitement des conteneurs frigorifiques, et la sécurité au sein du terminal.

Département des opérations

- **Service Aconage** : Assure la gestion des opérations au niveau du terminal.
- **Service Manutention** : Assure la gestion des opérations au niveau des navires.
- **Service Ressources** : Assure une meilleure affectation des équipements et ressources.
- **Service Logistique** : Assure le suivi des moyens logistiques ainsi que la prestation logistique globale.

2.10.4 Direction Marketing (DM)

La DM veille à la marque de l'entreprise en se préoccupant en permanence d'entretenir des relations avec les clients. Elle vise a faire connaître ses missions, ses programmes, ses orientations et ses performances auprès de ses clients. Elle amène son environnement externe à prendre conscience de l'importance des démarches qu'elle entreprend dans le développement et l'amélioration de la qualité des services.

- **Service Marketing** : Assure la promotion de l'image de marque de l'entreprise et la mise en œuvre du plan d'action.
- **Service commercial** : Suit la facturation, la gestion de portefeuille client et le recouvrement.

- **Service informatique** : Assure le bon fonctionnement du CTMS, la maintenance du parc informatique de l'entreprise et le développement de nouvelles applications aux différentes structures.

2.10.5 Direction des Finances et de Comptabilité (DFC)

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

- **Service comptabilité** : Procède au contrôle et l'enregistrement de toutes les factures d'achat, de prestation et d'investissement.
- **Service finances** : Procède au règlement de toutes les factures d'un côté et de l'autre à l'encaissement de toutes les créances de l'entreprise émises à la banque.

2.10.6 Direction Technique (DT)

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

- **Service engins** : Assure l'entretien des véhicules lourds.
- **Service portiques** : Assure l'entretien des portiques et de la grue mobile.
- **Service méthodes** : Assure la mise en œuvre du plan de maintenance des équipements.

2.11 La sécurité du terminal

La sécurité pour les marchandises des clients figure au premier plan des préoccupations de BMT dans la gestion du terminal à conteneurs. La sécurité sur la totalité des sites du port s'inscrit dans le dispositif général de la sûreté définie dans le cadre du code pour la sûreté maritime et des installations portuaires, autrement appelé code ISPS.

BMT met en œuvre des mesures spécifiques de surveillance et de vigilance, et entreprend quotidiennement l'évaluation des risques continus au sein du terminal à conteneurs, afin de protéger celui-ci contre le sabotage, le vol et toutes autres formes de malveillance qui pourrait toucher à l'intégrité de la marchandise et du conteneur.

Le périmètre du terminal à conteneurs est clôturé et équipé d'une télésurveillance vidéo de haute technologie afin de le protéger contre l'intrusion illégale et pour contrôler toutes

les entrées et sorties.

En plus de la sécurité du port de Bejaia, BMT emploie une brigade d'agents de sécurité. Cette brigade a été mise sur pieds pour assurer une surveillance et un contrôle des lieux 24h/7 jours[15].

2.12 La gestion informatique du terminal à conteneur.

2.12.1 Le CTMS (Container Terminal Management Système)

BMT dispose d'un système logistique de gestion du 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'adapter aux besoins des clients. Le CTMS assure plusieurs taches telles que :

- le suivi du processus d'importation et d'exploitation ;
- la gestion de retour des conteneurs vides au terminal ;
- la gestion des restitutions des conteneurs (vides ou pleins) ;
- le suivi de dépotage des conteneurs ;
- la planification des navires et du parc à conteneurs ;
- le suivi des opérations de chargement et de déchargement ;
- la réception des conteneurs à l'exportation ;
- le suivi des opérations de shifting au niveau du parc à conteneurs ;
- la facturation des clients.

2.12.2 Le PDS (Position Determining System)

Le PDS (Position Determining System), autrement dit le système de détection de position, permet à BMT de déceler tous les mouvements de conteneurs en fournissant la position des appareils de manutention que les conteneurs sont manipulés en employant le GPS (Gestion de Position par Satellite). En effet le PDS calcule le temps réel de mouvement du conteneur et sa position dans le terminal à conteneurs avec une exactitude de 10 à

30 centimètre et il permet aussi à BMT de localiser et de livrer les conteneurs à ses clients dans un temps record.

2.12.3 Le RDS : Radio Data System (SRF : Système Radio Fréquence)

Le RDS désigne la transmission de données sans fil via les signaux hertziens numériques, opérant à une fréquence déterminée. La transmission sans fil 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 abritant le CTMS.

Le terminal mobile est utilisé par les employés de la direction des opérations, pour collecter et visualiser les données concernant la gestion du parc à conteneurs. Ce terminal mobile peut être portable, mais il peut aussi être monté sur un portique de levage ou RTG.

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

- Mise à dispositions d'informations actualisées et en temps réel ;
- Cadence de chargement /déchargement plus rapide ;
- Temps de réponse plus bref ;
- Meilleures utilisations des ressources humaines et matérielles ;
- Productivité accrue ;
- Plus grande précision et niveaux de service améliorés ;
- Le conteneurs ne sont pas égarés ;
- Opération plus rapides et plus efficaces au niveau de l'aire de stockage ;
- Opération plus rapides et plus efficaces au niveau des portes de transbordement ;

2.12.4 L'OCR : Optical Character Recognition (ROC : Reconnaissance Optique de Caractère)

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

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

2.13 les procédures de BMT (l'import et l'export)

2.13.1 Définition de l'import et l'export

C'est une activité commerciale qui a pour objet l'acquisition des produits en provenance de l'étranger et la vente des produits nationaux à l'étranger.

2.13.2 Les étapes de l'import et l'export

1.13.2.1 A l'import

Cette procédure est subdivisée en 4 étapes :

1- La visite

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

1. Copie du connaissement avec mention de prestation requise ;
2. Bon à délivrer ;
3. Bon de commande.

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

2- La pesée

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

1. Bon de commande (avec visa du service commercial de recouvrements) ;
2. Copie du connaissement ;
3. Bon à délivrer.

A ce moment là, l'agent de l'entreprise de gestion des conteneurs fait charger les conteneurs sur un camion remorque pour effectuer la pesée.

3- la livraison

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

1. Bon à délivrer (apuré par la douane) ;
2. Mise à quai en triple exemplaires ;
3. Copie du connaissement ;
4. Bon de commande (avec précision de la nature de prestation) visé par le service commercial (recouvrement).

Par conséquent, l'agent chargé des opérations commerciales devrait confirmer la conformité du dossier pour établir le Container Delivery Order et l'entreprise sur un fichier électronique consacré au suivi des livraisons.

4- Le dépotage

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

1. Bon de commande ;
2. Bon à délivrer (apuré par la douane) ;
3. Lettre de dépotage (apuré par la douane) ;
4. Copie du connaissement avant 16h00.

Par la suite l'agent de l'entreprise de gestion des conteneurs prépare les Container Movement Request (document nécessaire pour le dépotage à remettre au pointeur affecté à la zone de dépotage), mais au préalable l'agent chargé des opérations commerciales remettra au chef de section exploitation une liste contenant tous 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.

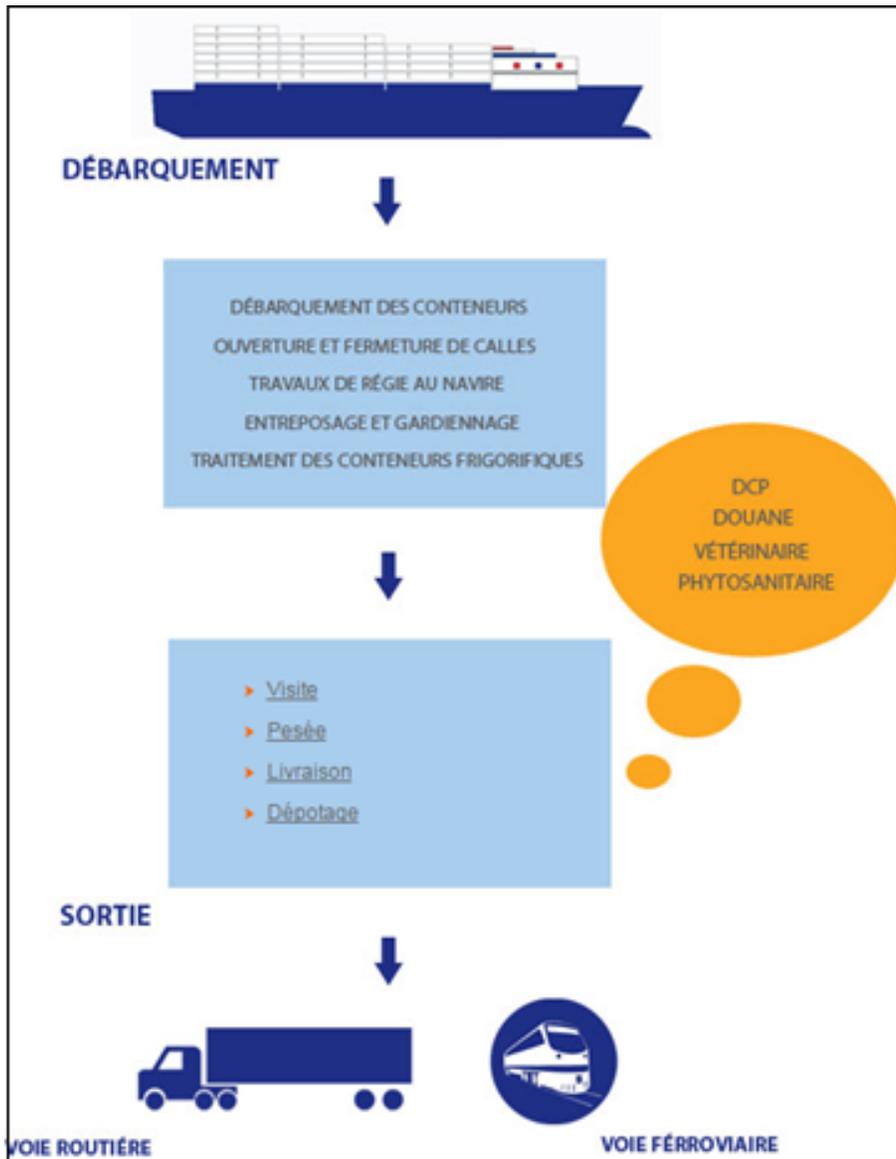


FIGURE 2.7 – Les procédures à l’import.

1.13.2.2 A l'export

Cette procédure est subdivisée en 5 étapes :

1- La restitution

Pour permettre un suivi rigoureux des restitutions, l'agent responsable doit exiger du pointeur une liste quotidienne des conteneurs restitués avec leurs position au terminal et s'assurer de comparer les bons reçus avec le nombre total de conteneurs figurants sur la liste.

2- Suivi des mises à quai

Cette opération est assurée par l'agent responsable des restitutions, qui doit s'en assurer du bon suivi grâce à la tenue d'un fichier électronique mis à jour avec la saisie des restitutions journalières, et ce avec le concours du pointeur désigné à charge pour le suivi des restitutions conjointement avec l'agent responsable des restitutions à la fin de la journée. La signature des mises à quai est assurée par le chef de section.

3- Mise à disposition

Le suivi des mises à dispositions devrait être assuré par l'agent chargé des opérations commerciales responsable des mises à dispositions, qui doit par conséquent tenir un fichier électronique spécialement consacré aux conteneurs mis à dispositions. Les documents requis pour une mise à disposition sont :

1. Demande de mise à disposition du consignataire dûment signée par la douane ;
2. Un bon de commande ;
3. Lettre empotage (en cas d'empotage à quai) dûment signée par la douane ;
4. Bon d'embarquement qui nous permettra d'effectuer l'embarquement en route régularité.

4- L'empotage

Le client est libre d'effectuer cette opération soit à l'intérieur du terminal à conteneurs soit à l'extérieur dans les magasins.

5- Visite/Pesée

Le transitaire ou le client final doit remettre au service des opérations le document suivant :

1. Bon de commande ;
2. Copie de connaissance ;
3. bon a délivré.

Après BMT établira une liste complète des conteneurs préparés pour la visite et pesées et la mise à disposition de ces conteneurs dans la zone de visite.



FIGURE 2.8 – Les procédures à l'export.

2.14 Projets d'investissement de la BMT

Le schéma de développement à long terme qu'a inscrit le port de Béjaïa permettra sans doute de renforcer les capacités commerciales du port et améliorer ses performances logistiques, d'autant plus que la nouvelle pénétrente reliera directement le port à l'autoroute Est-Ouest. Les grandes phases du schéma directeur de développement concernent :

Phase 1 : Programme immédiat :

Il s'agit principalement de la réalisation d'un nouveau poste à quai en prolongement du poste 24 (Nouveau Quai), sur une longueur de 200 m et à une profondeur de 12m. Cet ouvrage permettra de renforcer les capacités du port en terre-pleins de 20.000 m² d'aires

d'entreposage [22].

Phase 2 : Programme à moyen terme :

Ce programme prévoit l'extension du port par la création de surfaces additionnelles et la construction d'un nouvel espace de quais, offrant 6 nouveaux postes à quais pour les navires porte-conteneurs et autres navires, avec un tirant d'eau de -16 mètres. Les principaux travaux prévus sont :

- La Construction de postes à quai sur une longueur de 870 ml à 15 m de profondeur.
- La Création de 62 Ha de terre-pleins.
- La Protection des terre-pleins sur 11 773 ml.
- Le Dragage de l'arrière port à une profondeur de 16 m.
- L'élargissement des passes Abdelkader et la Casbah à 150m et leur approfondissement à 16m.
- Le transfert du port nautique.

Phase 3 : Programme à long terme (horizon 2025) :

Le Port de Béjaïa projette la construction de postes à quai sur une longueur de 214 ml et à une profondeur de 15m. Il est également prévu la réalisation de 3 appontements pour la réception de gros navires pétroliers et de 26 hectares de terre-pleins pour l'installation des équipements spécialisés. La vision de ce projet revêt un intérêt assuré aussi bien pour le port, que pour la communauté portuaire et la ville de Béjaïa et son hinterland. En plus d'une nouvelle réalisation, qui répondra à toutes les normes et exigences techniques, économiques, et opérationnelles, de nouveaux aménagements au niveau de l'actuel port pétrolier seront à envisager à l'effet de réaliser une zone touristique proprement dite, qui fera profiter les habitants de la région ainsi que ses visiteurs. Le port sera rendu à la ville et une marina sera créée [22]. L'aboutissement de ce schéma directeur de développement permettra de réinventer le port de Bejaïa et d'accroître son efficacité dans la chaîne logistique de transport, il contribuera ainsi à la compétitivité de ses clients en fournissant des services efficaces couvrant leurs besoins en transport maritime, transport terrestre et services logistiques.

Les zones logistiques extra portuaires :

Le programme d'investissement prévu pour l'année 2016, marque la volonté du port de poursuivre sa politique active de développement, de modernisation et d'adaptation de ses infrastructures, de ses équipements de manutention et engins de servitude. Il s'articulera principalement autour des opérations suivantes :

Les zones logistiques extra-portuaires constituent l'une des grandes ambitions du port de Béjaïa, qui s'inscrivent dans une démarche de solutions logistiques structurantes, pour optimiser la chaîne de valeur des opérations de commerce extérieur. Le premier site qui sera mis en exploitation en 2016, est celui de TIXTER. Situé à environ 190 kilomètres du port de Bejaïa, sis à la Daïra de AIN TAGHROUT, à 35 Km du chef lieu de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, il est d'une superficie totale de 20 Ha. Idéalement situé et rattaché à la voie ferrée, il se trouve à quelques kilomètres de l'autoroute est/ouest. Le deuxième site est celui

d'IGHIL OUBEROUAK, sis dans la commune de TALA HAMZA, à environ 05 kilomètres du port de Bejaia et d'une superficie de 05 ha. Ces espaces présentent des potentiels très importants en matière de multimodalité. Ils permettront à terme d'apporter une valeur ajoutée à la fois au port, par l'augmentation de ses capacités d'accueil des marchandises et aux opérateurs qui pourront mieux organiser leurs opérations d'import/export, par le truchement d'ores logistiques "door to door", favorisant une meilleure maîtrise de la chaîne d'approvisionnement et de distribution [22].

2.15 Position de problème

Face à la croissance continue de la conteneurisation des marchandises, la BMT investi dans plusieurs projet. Ceci marque la volonté du port de poursuivre sa politique active de développement, de modernisation et d'adaptation de ses infrastructures (équipements de manutention et engins de servitude). Pour une meilleure productivité d'un terminal à conteneurs il faut améliorer ces deux indicateurs clés :

- L'interface maritime du terminal comprenant les quais et les outillages qu'ils supportent ;
- Le parc de stockage avec ses différentes zones et les engins de parc nécessaires à la manutention des conteneurs.

Les objectifs de BMT depuis son mis en service sont :

- Rapprocher la marchandise du client final ;
- Augmenter les capacités d'accueil du port ;
- Réduire les temps d'attente en rade des navires ;
- Réduire le séjour a quai ;
- Doter la logistique globale du port d'un dispositif de soutien aux performances (délai, coût et qualité de service).

Cette année l'EPB engage un projet d'extension du port en vu de dragage du bassin, afin de porter le tirant d'eau à plus de -12 metre et le revêtement des terre pleins sur une surface de 1.7 ha et d'une superficie de 20000 m^2 avec la longueur de quai 170 m ce qui vas permettre à la BMT de récupérer un nouveau quai stratégique.

L'objectif de notre travail est de voir l'impacte de ce nouveaux quai sur la congestion de la rade et du terminal. C'est dans cette optique notre étude a été diligenté. Autrement dit, évaluer les performances de la productivité de BMT avec cette nouvelle infrastructure du port.

Chapitre 3

Méthodes d'évaluation de la performances

3.1 Introduction

De nombreuses recherches ont pour objet l'étude d'évaluation de la performance des systèmes. Chacune propose une définition selon le domaine de son étude et les objectifs qui orientent son analyse. En effet, le mot performance signifie accomplissement, réalisation et résultats réels.

Selon Larousse, la performance peut être définie comme un record ou un succès, « Faire un tel travail en si peu de temps, c'est une véritable performance ». En outre la notion de performance peut être interprétée différemment d'un domaine à un autre, désigne les résultats d'une action ou d'un fonctionnement qui seront par la suite comparés à un référent.

La notion de performance donc est complexe. Elle est multicritère et s'articule autour de plusieurs enjeux à savoir le coût, l'amélioration continue, la qualité de service et les délais des services. Dans ce chapitre nous décrivons les modèles analytiques (réseaux de Petri, réseaux de files d'attente...) qui constituent des outils performant pour la modélisation et l'évaluation des performances des systèmes.

3.2 Rôle et importance des indicateurs de performance.

Un indicateur de performance est considéré comme une variable quantifiée pertinente pour la prise de décision et le pilotage. Il permet également l'évaluation des résultats obtenus après l'exécution des tâches, Plusieurs définitions de la notion d'indicateur de performance ont été données dans la littérature [4].

- Un indicateur de performance permet d'aider un acteur, individuel ou plus généralement collectif, à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif ou devant lui permettre d'évaluer le résultat ».

- La notion d'indicateur de performance représente d'une part une donnée permettant d'aider un décideur ou un groupe à effectuer les choix nécessaires pour atteindre les objectifs fixés.

D'autre part, il est considéré comme une donnée qui permet d'indiquer l'efficacité par rapport à un objectif ou à une norme déterminée. Dans le domaine portuaire, la liste des indicateurs de performance permet de contrôler la mise en oeuvre des règles de gestion et d'explorer les améliorations possibles. Elle n'est jamais définitive car elle est liée aux besoins des utilisateurs où les objectifs ont une influence sur les indicateurs de performance. Par exemple, un indicateur qui permet de connaître le taux de manutention des conteneurs par heure dans un terminal et si une baisse se produit, ceci conduira à chercher les causes afin de prendre des décisions nécessaires. considère les indicateurs quantitatifs et les indicateurs qualitatifs.

La démarche de l'évaluation des performance peut être résumé dans la figure suivante.

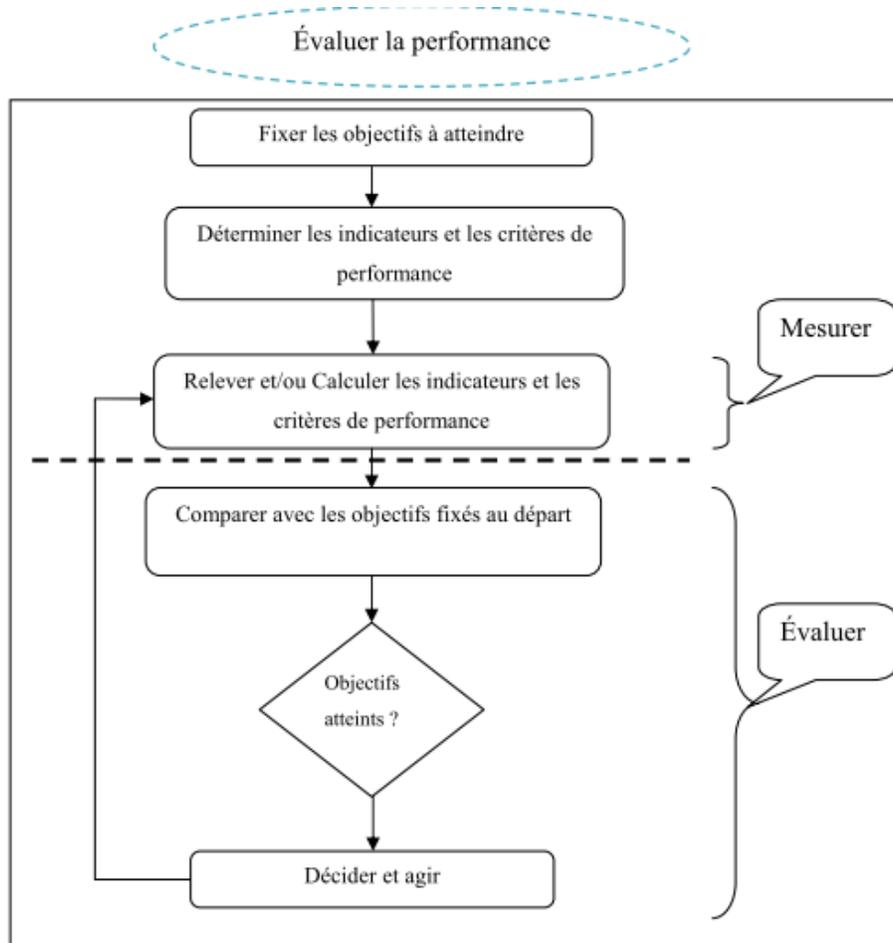


FIGURE 3.1 – Démarche d'évaluation de la performance d'un système.

3.3 Les Files d'attente

La théorie des files d'attente est une technique de la Recherche opérationnelle qui permet de modéliser un système admettant un phénomène d'attente, de calculer ses performances et de déterminer ses caractéristiques pour aider les gestionnaires dans leurs prises de décisions.

Les files d'attente peuvent être considérées comme un phénomène caractéristique de la vie contemporaine. On les rencontre dans les domaines d'activité les plus divers. L'étude mathématique des phénomènes d'attente constitue un champ d'application important des processus stochastiques. On parle de phénomène d'attente chaque fois que certaines unités appelées "clients" se présentent d'une manière aléatoire à des "stations" afin de recevoir un service dont la durée est généralement aléatoire.

3.3.1 Identification et classification des systèmes d'attente

Une file classique est une entité constituée d'une file d'attente et d'un ou plusieurs serveurs. Les clients arrivent de l'extérieur, patientent éventuellement dans la file d'attente, reçoivent un service, puis quittent la station.

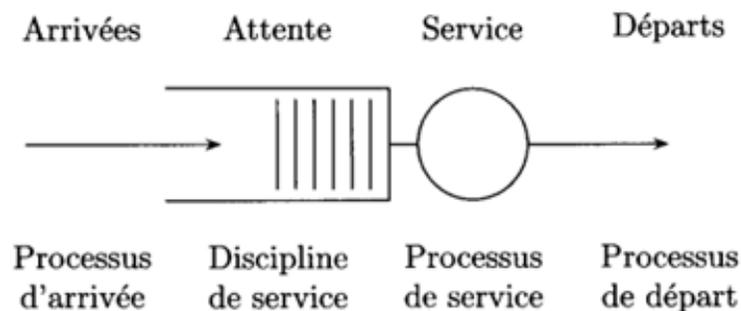


FIGURE 3.2 – Représentation d'une file d'attente.

Pour identifier un système d'attente, on a besoin des spécifications suivantes :

- 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 station 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.

3.3.2 La Notation de Kendall-Lee

La notation suivante, introduite par Kendall, permet de ramener la description des différents éléments constituant une file d'attente simple à un modèle qui est spécifié par une suite de six symboles $A/S/m/K/P/D$, où chacune des lettres désigne une caractéristique de la file, comme précisé ci-dessous :

- A : la distribution des temps entre deux arrivées successives ;
- S : la distribution des temps de service ;
- m : le nombre de serveurs, $m \in 1, \dots, \infty$;
- k : capacité du système, c'est le nombre maximum de clients qui peuvent être présents simultanément dans le système, c'est-à-dire les clients en attente et les clients en service. On a $k \geq m$ et $k \in 1, \dots, \infty$;
- P : la taille de la population ;
- D : discipline (ou politique) de service, précisant comment les clients sont servis.

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

- M : loi Exponentielle qui vérifie donc la propriété de Markov (memoryless) ;
- E_n : loi de Erlang à n phases ;
- D : loi Déterministe ;
- U : loi Uniforme ;
- G : loi Générale ;
- Γ : loi Gamma.

3.3.3 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, service dans l'ordre des arrivées ;

LIFO : Last In First Out, service inverse de l'ordre des arrivées ;

PS : Processor Sharing, serveur partagé entre tous les clients présents ;

RSS : Random Selection for Service, sélection aléatoire de service (ou SSA) ;

Priorité : plusieurs classes de clients de priorité différente, le client avec Priorité la plus haute est servi en premier, et la discipline de service est FIFO au sein d'une même

classe, Par défaut, la distribution est FIFO. Pour la discipline "Priorité", on distingue deux variantes, selon que le client en service est interrompu lorsqu'un client plus prioritaire arrive ou non. Cette discipline est celle de priorité "non préemptive" si le client en service n'est pas interrompu lorsqu'un client plus prioritaire entre dans le système. Dans le cas contraire, le client en service est interrompu lorsqu'un client plus prioritaire arrive, pour que ce dernier puisse commencer son service aussitôt. Une fois le service du client prioritaire terminé, le client interrompu reprend son service, et à ce niveau, on distingue deux politiques :

- **Priorité préemptive avec recommencement** : le client interrompu reprend son service au début ;
- **Priorité préemptive avec continuation** : le client interrompu reprend son service Là où il avait été interrompu.

3.3.4 Mesures de Performance

L'étude d'une file d'attente a pour but de calculer ou estimer les performances d'un système dans les conditions de fonctionnement données. Ce calcul se fait le plus souvent pour le régime stationnaire uniquement et les mesures les plus fréquemment utilisées sont [22] :

- $L_s = E(X)$: Nombre moyen de clients dans le système.
- W_s : Temps moyen de séjour d'un client dans le système.
- L_f : Nombre moyen de clients dans la file.
- W_f : Temps moyen de séjour d'un client dans la file.
- U_j : Taux d'utilisation du serveur j.
- U : Taux d'utilisation du système.

Ces valeurs ne sont pas indépendante les unes des autres, mais sont liées par les relations suivantes :

$$L_s = \lambda W_s; \tag{3.1}$$

$$W_s = W_f + \frac{1}{\mu}; \tag{3.2}$$

$$L_f = \lambda W_f; \tag{3.3}$$

$$L_s = L_f + \frac{\lambda}{\mu}; \quad (3.4)$$

Avec λ : Taux des arrivées de clients dans le système.

- $\frac{1}{\lambda}$ Intervalle de temps moyen séparant deux arrivées consécutives.
- μ Taux de service.
- $\frac{1}{\mu}$ Durée moyenne de service.

3.3.5 Formule de Little

Soit λ le taux des arrivées, W le temps moyen d'attente et L le nombre moyen de clients présents dans le système. Alors, si λ , W et L existent, ils sont reliés l'un à l'autre par l'équation [13] :

$$L = \lambda W. \quad (3.5)$$

Cette formule est l'un des résultats les plus généraux et utiles dans la théorie des files d'attente.

3.4 Les file d'attente markoviennes

Les Modèles Markoviens de files d'attente sont des systèmes où les deux quantités stochastiques principales "les temps des inter-arrivé" 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.

3.4.1 Le système M/M/1

Ce système est composé d'une file de capacité infinie et d'un unique serveur. La discipline de service de la file est FIFO et le processus des arrivées est poissonnien de taux λ , de même la durée de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux μ [1].

L'état de ce système est complètement décrit par le processus $\{X(t), t \geq 0\}$ qui donne le nombre de clients dans le système à l'instant t .

$\{X(t), t \geq 0\}$ est un processus stochastique à espace d'état discret et à temps continu. Puisque la file est à capacité illimitée, l'espace d'état E est infini : $E = \mathbb{N}$. Les caractéristiques de ce système sont données par les relation suivantes :

- **le régime transitoire** du processus stochastique $\{X(t); t \geq 0\}$ défini par les probabilités d'état :

$$p_n(t) = p(X(t) = n); \quad (3.6)$$

les fonctions $p_n(t)$ dépendent de l'état initial ou de la distribution initial du processus.

- **le régime stationnaire** du processus stochastique définie par :

$$p_n = \lim_{t \rightarrow \infty} p_n(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} p(X(t) = n); n = 0, 1, 2... \quad (3.7)$$

ces probabilité existe et son indépendantes de l'état initiale du processus.

les caractéristiques de se système sont données par : $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$; $\rho < 1$ est la condition de stabilité de ce système.

Nombre moyen de clients dans le système :

$$L_s = \frac{\rho}{1 - \rho}; \quad (3.8)$$

Nombre moyen de clients dans la file :

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu}; \quad (3.9)$$

Temps moyen de séjour dans le système :

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda}; \quad (3.10)$$

Temps moyen d'attente dans la file :

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}. \quad (3.11)$$

3.4.2 Le système M/M/1/K

Considérons un système à serveur simple à la file M/M/1 excepté que la capacité de la file d'attente est finie. On a donc toujours les hypothèses suivantes :

le processus d'arrivées des clients dans la file est un processus de Poisson de taux λ et le temps de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux μ . Soit K la capacité de la file d'attente : c'est le nombre maximal de clients qui peuvent être présents dans le système, soit en attente, soit en service. Quand un client arrive alors qu'il y a déjà K clients présents dans le système, il est perdu, dans ce cas le système est dit système avec refus ou bien le système se bloque [1].

3.4.3 Le système M/M/∞

On considère un système composé d'un nombre illimité de serveurs indépendants les uns des autres. Dès qu'un client arrive, il rentre instantanément en service. Cette file particulière ne comporte donc pas de file d'attente. Le processus des arrivées des clients est poissonien de taux λ et les temps des services sont exponentiels de taux μ_i , $i = 1, \dots, \infty$. Ce système est complètement décrit par la chaîne de Markov à temps continue [1].

3.4.4 Le modèle d'attente $M^{[X]}/M/1$

La plupart des travaux sur les modèles d'attente classiques traitent des systèmes dans lesquels les clients arrivent un par un. Cependant, dans plusieurs situations pratiques, on rencontre souvent des cas où les clients arrivent par groupes et non pas séparément. Ces situations d'attente peuvent être représentées par des modèles appelés modèle avec arrivées par groupe [3].

Ce modèle est caractérisé par les éléments suivants :

- Les groupes arrivent selon un processus de poisson de taux λ ;
- Les clients sont servis individuellement, les durées des services étant indépendantes et distribuées suivant une loi exponentielle de moyenne $\frac{1}{\mu}$;
- La discipline de service est FIFO ;
- Le nombre de clients par groupe est une variable aléatoire X strictement positive.

On pose :

$$P(X=x)=c_x.$$

Les arrivées des clients ne forment pas un processus de Naissance et de Mort. Cependant, le système est Markovien, puisque le comportement future du système dépend uniquement de la situation présente.

3.5 Les files d'attente non markovien

En s'écartant de l'hypothèse d'exponentialité de l'une ou des deux quantités stochastiques "les temps des inter-arrivées" et "les durées de service" ou bien en introduisant des paramètres supplémentaires spécifiques au modèle tels que : la priorité, les rappels, les blocages, ... , on n'aura plus de processus Markovien. Ce qui rend l'analyse du modèle très délicate, voire impossible [13].

3.5.1 Le système M/G/1

On considère une file d'attente à capacité illimitée et à un seul serveur, Le processus d'arrivée des clients dans la file est toujours supposé poissonien de paramètre λ , Mais, ici, le temps de service d'un client est distribué selon une variable aléatoire générale H qui n'est plus supposée exponentielle. En supposant implicitement que les services successifs sont indépendants les uns des autres [1].

Le processus stochastique décrivant l'évolution du nombre de clients dans le système n'est plus une chaîne de Markov car le temps de service n'est plus "sans mémoire". Pour obtenir un processus markovien plusieurs méthodes ont été proposées :

- Méthode des étapes d'Erlang ;
- Méthode de la chaîne de Markov induite ;
- méthode des variables auxiliaire ;
- Méthode des événements fictifs.

3.5.2 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, et les temps de service sont indépendants et identiquement distribués selon une loi exponentielle de paramètre μ [1].

3.5.3 Le système G/G/1

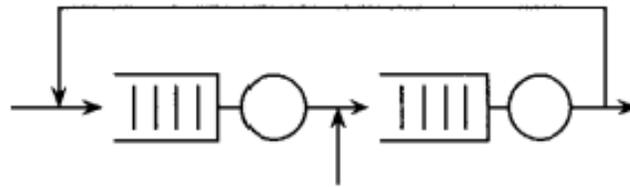
le système G/G/1 est un système complexe pour lequel seules les approximation et les bornes existant dans le cas général peuvent le rendre un processus sans mémoire pour obtenir nombre moyen de clients dans la file ou le temps de réponse, dont l'espace des états est mixte, difficile à analyser [1].

3.6 Les réseaux de files d'attente

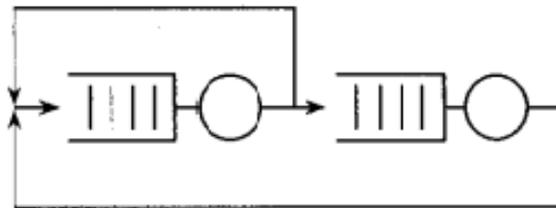
La modélisation d'un système à l'aide d'une seule file d'attente n'offre qu'un champ d'applications restreint. Bien souvent, un client a besoin de recevoir plusieurs traitements consécutifs et de différentes natures avant de quitter un système. Les réseaux de files d'attente permettent de modéliser de telles situations et correspondent à des systèmes composés de plusieurs files d'attentes reliées entre elles. Lorsqu'un client quitte une file, il peut se diriger vers une nouvelle station du réseau (qui peut, éventuellement, être celle qu'il vient de quitter) ou sortir définitivement du système. Ces décisions sont dictées par des règles de routage qui peuvent être déterministes ou stochastiques.

Un réseau de files d'attente est dit ouvert lorsque des arrivées de clients depuis l'extérieur du système sont possibles et lorsque les clients peuvent quitter le système. A priori, les arrivées externes peuvent avoir lieu dans n'importe quelle station et il en est de même des départs, l'important étant que tout client entrant ou présent dans le système ait une possibilité de le quitter un jour. Lorsqu'aucun client ne peut ni entrer dans le système ni le

quitter, le réseau est dit fermé. Le nombre de clients dans un réseau fermé est donc constant au cours du temps. Il existe également des réseaux mixtes qui ne sont, cependant, qu'une juxtaposition de systèmes ouverts et fermés [11].



Réseau ouvert



Réseau fermé

FIGURE 3.3 – Deux exemples de réseaux de files d'attente, l'un ouvert et l'autre fermé.

3.6.1 Les réseaux de Jackson ouverts

Le réseau de Jackson est introduit par James R. Jackson dans. Il s'agit du premier développement significatif dans la théorie des réseaux de files d'attente à forme produit.

Un réseau de Jackson ouvert est un réseau formé par l'interconnexion de n files de type $-/M/m$ (que l'on supposera numérotées de 1 à n) où les clients arrivent selon des processus de Poisson et se déplacent en suivant des règles de routage markoviennes. Plus précisément, les clients arrivent de l'extérieur du système selon des processus de Poisson indépendants, le taux d'arrivée dans la file i étant constant et égal à λ_i ($1 < i < n$). Chaque station i du réseau est régie par une discipline FIFO, possède un nombre fini m_i de serveurs et fournit des traitements dont les durées sont indépendantes et identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre μ_i constant. Après avoir complété son service dans une file i ,

un client est envoyé à la file j avec la probabilité r_{ij} et quitte le système avec la probabilité

$$r_{i0} = 1 - \sum_{j=1}^n r_{ij}; \quad (3.12)$$

un réseau de Jackson ouvert, stable et formé de n files, possède une distribution stationnaire unique donné par :

$$\Pi(x) = \prod_{i=1}^n \Pi_i(x_i), \forall x = (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3.13)$$

$\Pi(x_i)$ est la distribution stationnaire d'une file $M/M/m_i$ (égale à la probabilité stationnaire d'observer x_i clients dans la file $M/M/m_i$) de taux d'arriver λ_i et taux de service μ_i [12].

3.6.2 Les réseaux de Jackson fermé

Les travaux initiaux de Jackson qui ne portaient que sur des réseaux ouverts ont été étendus et généralisés à plusieurs reprises, en particulier qui ont montré que les distributions à forme produit s'appliquaient également aux réseaux fermés formés de files $M/M/m$. Dans de tels réseaux, $\lambda_i = 0$ et quel que soit i et le nombre de clients présents dans le système est constant [12].

3.6.3 Les réseaux de files d'attente avec blocage :

Si les systèmes de file d'attente dans un réseau sont à capacité limitée, une situation appelée blocage peut survenir. Le blocage désigne l'inactivité d'un système de file d'attente, en présence de clients en attente de service, à cause des limites de capacité des systèmes de file d'attente en aval.

Dans la littérature, il existe plusieurs types de blocage. Nous citons à titre d'exemples le « blocage après service » et le « blocage avant service ».

Dans le cas de blocage après service, un client qui vient d'être servi par un système de file d'attente i peut rejoindre la file d'attente du système $i + 1$ s'il y a une place disponible dans la file. Sinon, le client reste en attente de transfert et le serveur i reste bloqué jusqu'à ce qu'une place se libère dans le système $i + 1$.

Dans le cas de blocage avant service, un client entre en service dans le système de file d'attente i seulement s'il y a une place disponible dans la file d'attente $i + 1$. Les réseaux des files d'attente avec blocage ont des solutions à forme produit seulement dans des cas particuliers. Des techniques d'approximation analytiques ont été proposées afin de déterminer les probabilités d'état en régime permanent des réseaux des files d'attente avec blocage [2].

3.7 Les Réseaux de Petri

Un Réseau de Petri (RdP) est un outil graphique de modélisation et d'évaluation des performances, des systèmes complexe qui recouvers des systèmes de production, de communication et d'informatique...

Sa puissance d'expression permet d'étudier des systèmes composés de sous systèmes fonctionnant en parallèle, communiquant et partageant des ressources Cet outil développé au début des années soixante par Carl Adam Petri.

Les réseaux de Petri caractérisé par une analyse analytique et quantitative et permet une modélisation statique et dynamique.

3.7.1 Structure d'un réseau de Petri

La structure des RdPs non marqués est donnée par un quadruplet :

$$R = (P, T, Pre, Post) \quad (3.14)$$

- P : l'ensemble fini de places (p_1, p_2, \dots, p_n) ;
- T : est l'ensemble fini de transitions (t_1, t_2, \dots, t_m) ;
- $pre : P \times T \rightarrow N$ est l'application d'incidence avant (places précédentes) ;
- $Post : P \times T \rightarrow N$ est l'application d'incidence arrière (places suivantes).

On note par C la matrice d'incidence du réseau de Petri qui est définie par :

$$C = Post - pre ;$$

D'un point de vue graphique, un RdP est un graphe biparti orienté constitué de :

- Places représentées par des cercles, une place correspond à une variable d'état de système ;
- Transitions représentées par des rectangles, une transition correspond a un événement ou une action ;
- Arcs qui relie les places aux transitions(préconditions) ou les transitions au places(postconditions).

Par défaut, un arc possède un poids avec la valeur entière 1, ainsi, il peut être un entier supérieur à 1, mais une telle valeur devra être indiquée sur l'arc correspondant. Si tous les arcs ont un poids égal à 1, le RdP est dit ordinaire. L'état d'un système décrit par un RdP est représenté par le marquage de ce graphe.

3.7.2 Réseaux de Petri à arcs inhibiteurs

Dans ces RdP on ajoute un nouveau type d'arcs, allant d'une place vers une transition, appelé arc inhibiteur. Cet arc indique l'une des conditions de franchissabilité de la transition est que la place ne contienne aucun jeton.

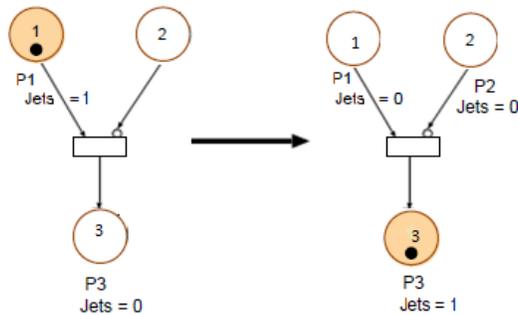


FIGURE 3.4 – Un graphe à arcs inhibiteurs.

3.7.3 Marquage

Le marquage d'un RdP est spécifié par un nombre entier positif fini ou nul de marques à l'intérieur de chaque place. Le marquage M d'un RdP à un instant donné est un vecteur dont la valeur de la i^{eme} composante est le nombre m_i de marques (jetons) dans la place p_i à cet instant

$$M(p) = (m_1, m_2, \dots, m_n).$$

Le marquage initial d'un RdP $M_0(p)$ est le nombre de marques (jetons) contenus dans la place p .

Exemple d'un réseau de Petri

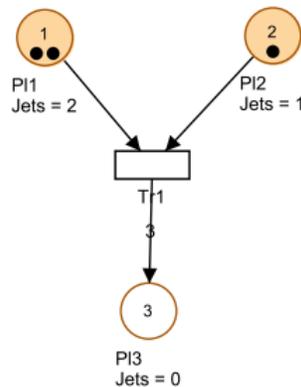


FIGURE 3.5 – Exemple de marquage d'un réseau de Petri.

ce réseau de Petri possède 3 places, 1 transition et 3 arcs. Le marquage initial de ce RdP est $M_0(P) = (m_1, m_2, m_3) = (2, 1, 0)$.

3.7.4 Sensibilisation et franchissement

Une transition t est franchissable pour un marquage M si et seulement si :

$$\forall p \in P, M(p) \geq \text{pre}(p, t). \quad (3.15)$$

Si t est franchissable pour le marquage M , le franchissement de t donne le nouveau marquage M' tel que

$$\forall p \in P, M'(p) = M(p) - \text{pre}(p, t) + \text{post}(p, t). \quad (3.16)$$

Plus précisément, lorsque le nombre de jetons dans chaque place d'entrée d'une transition sera supérieur ou égal au poids de l'arc joignant cette place à la transition. La transition sera alors franchissable (sensibilisée ou tirable). Lorsqu'elle sera franchie (ou tirée), son franchissement définira le marquage suivant du réseau. Le tir dépend donc des jetons, ainsi, la règle d'évolution des réseaux marqués leurs donne une dynamique tout en précisant comment les transitions permettent de modifier l'état du système.

Un exemple de franchissement :

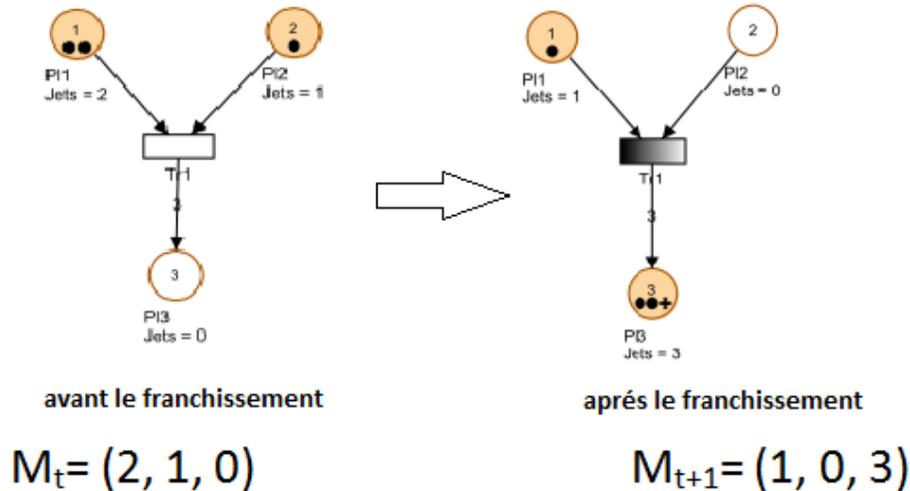


FIGURE 3.6 – Exemple de franchissement.

En effet, l'état initial était $M_t = (2, 1, 0)$, alors qu'après le franchissement de la transition, le marquage devient $M_{t+1} = (1, 0, 3)$. Ceci est réalisé en ôtant deux jetons dans la place p_1 et un jeton dans p_2 . On constate que M_{t+1} n'est plus franchissable vu qu'il n'y a plus de jetons dans la place p_2 .

3.7.5 Marquage accessible

Soit (R, M_0) un réseau de Petri marqué. Un marquage M est accessible si et seulement si il existe une séquence de franchissement $s \in T^*$ telle que $M_0 \xrightarrow{s} M$.

Ensemble d'accessibilité

Soit (R, M_0) un réseau de Petri marqué. L'ensemble des marquages accessibles ou ensemble d'accessibilité d'un réseau est noté $A(R, M_0)$ ou A est l'ensemble des marquages atteints par une séquence de franchissement :

$$A(R, M_0) = \{ M \in N^p \mid \exists s \in T^* \text{ tel que } M_0 \xrightarrow{s} M \}. \quad (3.17)$$

Soit (R, M_0) un réseau de Petri. Le graphe des marquages accessibles (ou graphe d'accessibilité) de ce réseau, noté $G(R, M_0)$ est défini comme le graphe dont les noeuds (ou sommets) sont les marquages accessibles de $A(R, M_0)$ et dont les arcs, étiquetés par les noms des transitions, sont définis par la relation de tir entre les marquages. Un arc étiqueté par t joint M à M' si et seulement si $M \xrightarrow{t} M'$ [7]

Un exemple d'un RdP et son graphe des marquages accessible

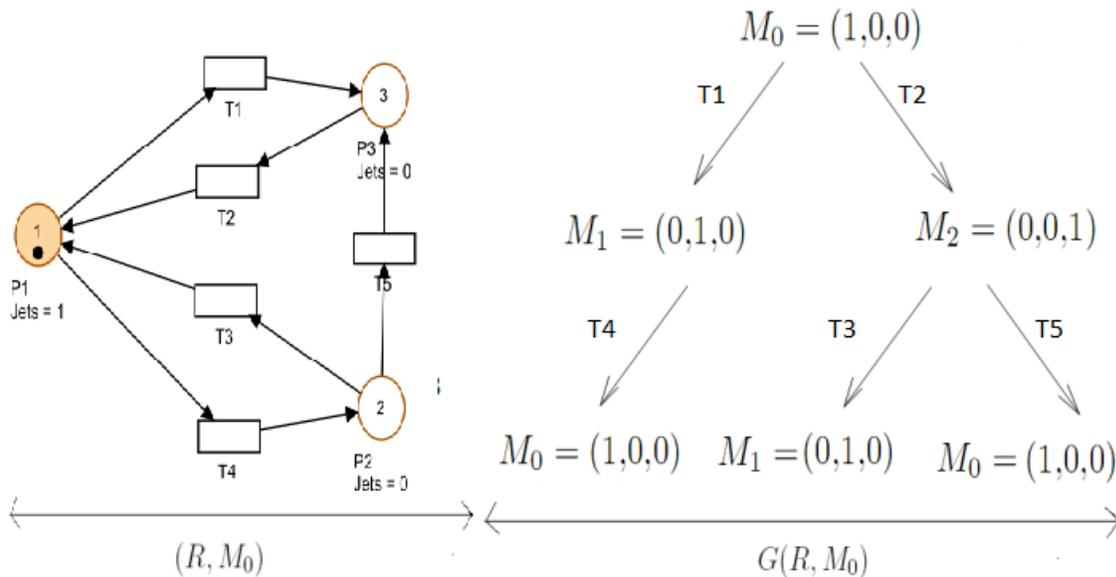


FIGURE 3.7 – Exemple de graphe des marquages accessibles d'un RdP.

3.7.6 Conflit et parallélisme

Conflit structurel

Deux transitions t_1 et t_2 sont en conflit structurel si et seulement si elles ont au moins une place d'entrée en commun, on parle de conflit structurel car cela ne dépend pas du marquage [7].

$$\exists p \in P \text{ tel que } : pre(p; t_1) \cdot pre(p; t_2) \neq 0. \quad (3.18)$$

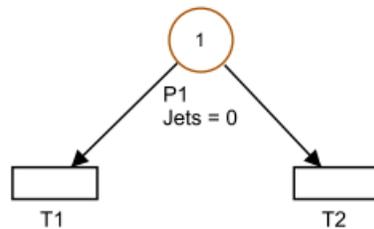


FIGURE 3.8 – Exemple de conflit structurel.

Conflit effectif

Deux transitions sont en conflit effectif pour un marquage M si et seulement si t_1 et t_2 sont en conflit structurel et que :

$$M \geq pre(p; t_1);$$

$$M \geq pre(p; t_2).$$

Un exemple d'un réseaux conflit effectif

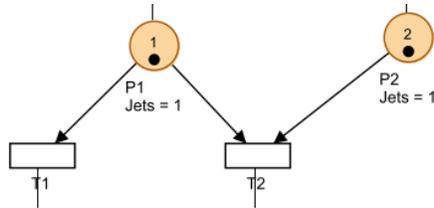


FIGURE 3.9 – Exemple de conflit effectif.

3.7.7 Parallélisme structurel

Deux transitions t_1 et t_2 sont en parallèles structurellement si :

$$Pre(., t_1) \cdot (Pre(., t_2)) = 0. \quad (3.19)$$

Elles n'ont donc aucune place d'entrée commune (le produit scalaire de leur vecteurs pre est nul).

Elle sont en parallèles effectifs pour un marquage M si de plus [8] :

$$M(t_1) > \text{ et } M(t_2) >.$$

Un exemple d'un RdP à structure parallélisme

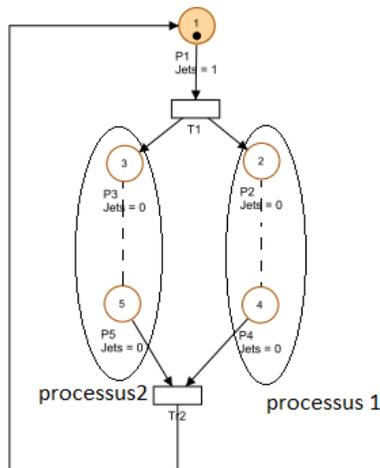


FIGURE 3.10 – RdP à structure parallélisme.

Sur ce graphe nous remarquons qu'après le franchissement de T_1 et jusqu'au franchissement de T_2 nous avons des évolutions en parallèle de la place P_1 à la place P_4 d'une part et de la place P_2 à la place P_5 d'autre part chacun de ces deux évolutions peut se faire à son rythme propre.

3.8 propriétés

3.8.1 vivacité

a- Transition vivante

Une transition T_j est vivante pour un marquage initial M_0 si pour tout marquage accessible M' , il existe une séquence de franchissement S qui contient la transition T_j , à partir de M' . Autrement dit quelque soit l'évolution, il subsistera toujours une possibilité de franchir T_j à nouveau.

b- RdP vivant

Un RdP est vivant pour un marquage initial M_0 si toutes ses transition sont vivantes pour M_0 .

$$\forall M \in A(R, M_0), \forall t \in T, \exists M' \in A(R, M) \text{ tel que } M_0(t > . \quad (3.20)$$

3.8.2 Réseau borné

a- Place k bornée, non borné

Soit un réseau R et un marquage M_0 . Une place p_i du réseau marqué (R, M_0) est k bornée si pour tout marquage M accessible depuis M_0 , $M(p_i) \leq k$. Dans le cas contraire, la place p_i est dite non bornée.

b-RdP borné

Un RdP est dit borné pour un marquage initial donné si quel que soit le marquage accessible atteint M et quelle que soit la place $p \in P$ considérée, le nombre de jetons contenus dans cette place est inférieur à une borne k . Dans le cas contraire, le RdP est dite non bornée.

$$\exists k \in N, \forall M' \in A(R, M_0), M'(p) \leq k; \quad (3.21)$$

3.8.3 Réseau sans blocage

Un blocage est un marquage tel qu'aucune transition n'est franchissable. Un RdP est dit donc sans blocage pour un marquage initial M_0 si aucun marquage accessible M' n'est un blocage.

3.8.4 Graphe d'état

Un réseau de Petri non marqué est un graphe d'état si et seulement si toute transition a exactement une seule place d'entrée et une seule place de sortie.

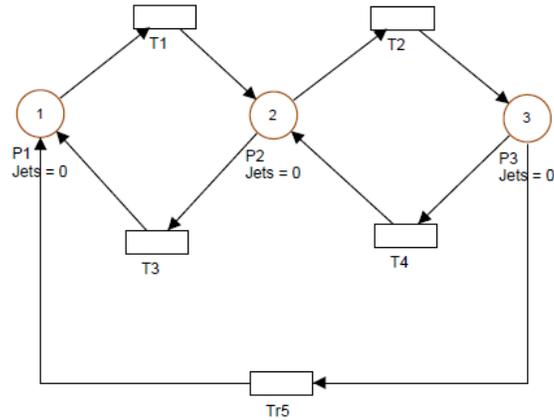


FIGURE 3.11 – Graphe d'état.

Chacune des transitions T_1 , T_2 , T_3 , T_4 et T_5 possède une seule place d'entrée et une seule place de sortie.

3.8.5 Graphe d'événement

Un RdP est un graphe d'événement si et seulement si chaque place possède exactement une seule transition d'entrée et une seule transition de sortie.

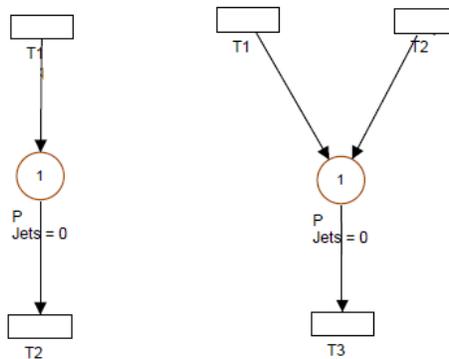


FIGURE 3.12 – Un graphe d'événement.

3.9 Extensions des réseaux de Petri

3.9.1 Réseaux de Petri généralisés

Un RdP généralisé est un RdP dans lequel des poids (nombres entiers strictement positifs) sont associés aux arcs. Si un arc (P_i, T_j) a un poids k : la transition T_j n'est franchie que si la place P_i possède au moins k jetons. Le franchissement consiste à retirer k jetons de la place P_i . Si un arc (T_j, P_i) a un poids k : le franchissement de la transition rajoute k jetons à la place P_i . Lorsque le poids n'est pas signalé, il est égal à un par défaut [8].

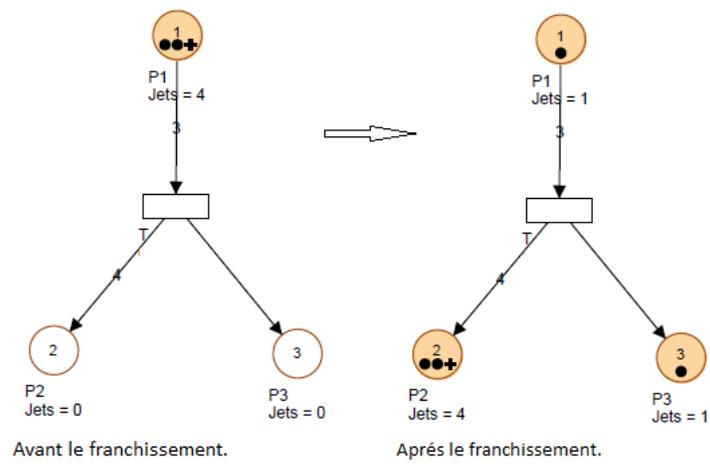


FIGURE 3.13 – Réseau de Petri généralisé.

3.9.2 Réseaux de Petri temporisés

Les RdP temporisées sont une extension des RdP ordinaires. Cette extension est caractérisée par l'ajout de temporisations i.e. l'introduction de la variable temps. Il existe deux sortes de RdP temporisés : RdP T-temporisés et des RdP P-temporisés [10].

Les réseaux de Petri P-temporisés

Un réseau de Petri P-temporisé est défini par le couple (R, d) avec :

- R est un réseau de Petri $(P, T, \text{pre}, \text{Post}, M_0)$,
- $d : T \rightarrow \mathbb{Q}^+$ est la fonction de temporisation.

La règle de tir doit tenir compte du temps. Soit t_0 l'instant où une marque est déposée dans une place p . La marque est indisponible (on dit qu'elle est gelée) pendant une durée égale à $d(p)$, i.e. dans l'intervalle $[t_0; t_0 + d(p)]$. Ensuite, la marque peut être utilisée pour le tir d'une transition. Les réseaux temporisés sont souvent utilisés pour la représentation

formelle des synchronisations dans les systèmes.

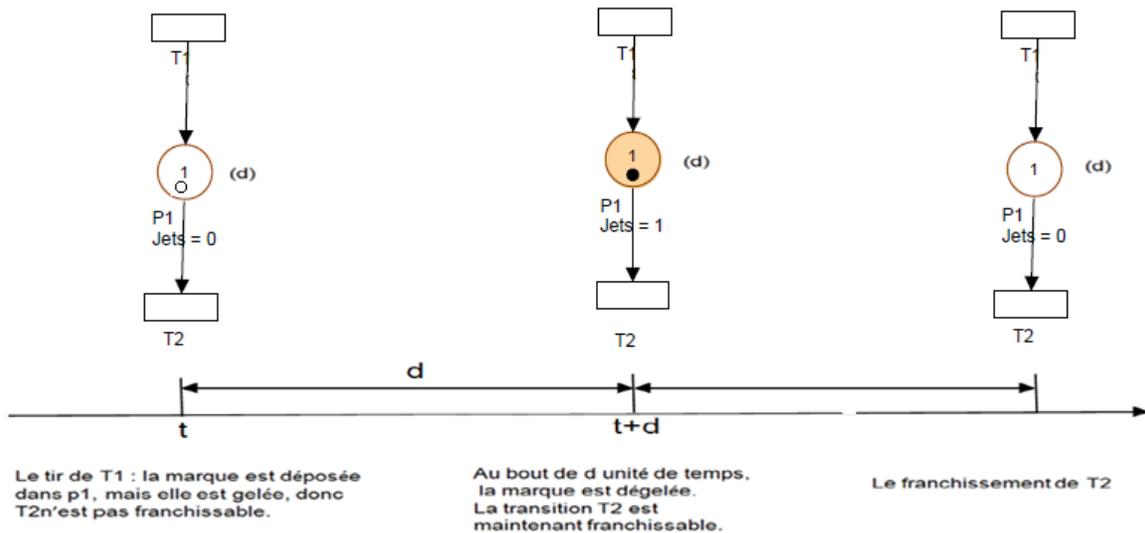


FIGURE 3.14 – Réseau de Petri P-temporisées.

Dans ce modèle, un paramètre temporel est associé à chaque place. La sémantique de ce paramètre correspond au temps de séjour minimum d'une marque dans une place (temps d'indisponibilité), et d représente la durée d'indisponibilité de la marque pour la validation des transitions. Après le franchissement de la transition T_1 , le jeton reste gelé dans la place P_1 pendant d unités de temps. Il ne peut pas être consommé avant l'écoulement du temps qui lui est associé. Dès que ce temps est achevé, la transition T_2 sera sensibilisée.

Les réseaux de Petri T-temporisées

La temporisation des transitions consiste à associer une durée de temps à chaque transition. Le tir d'une transition est décomposé en deux durées de temps : l'enclenchement du tir et la fin du tir, séparés par la durée spécifiée par la fonction de temporisation.

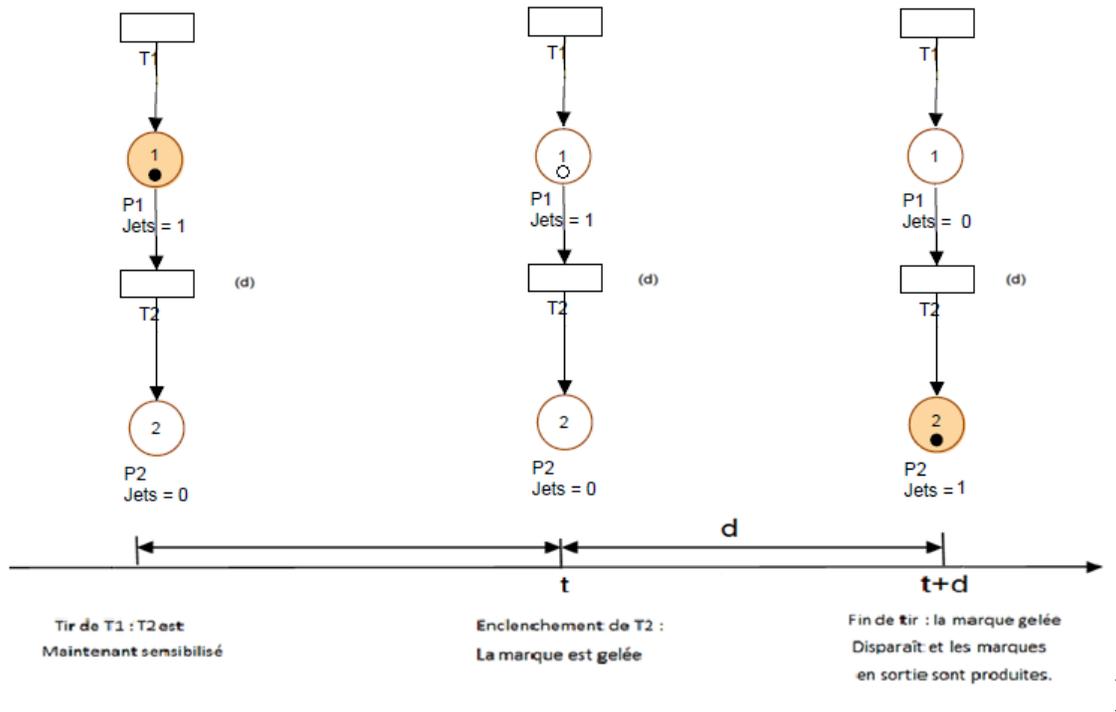


FIGURE 3.15 – Réseau de Petri T-temporisées.

Le franchissement de la transition T_2 est interruptible. Après sensibilisation de la transition T_2 la marque est gelée. Il faut attendre d unités de temps pour l'apparition du jeton dans la place P_2 . Pendant cet intervalle de temps, ce jeton ne peut plus être utilisé pour valider d'autres transitions [8].

3.9.3 Les réseaux de Petri temporels

Dans les réseaux de Petri temporels, le temps est représenté par un intervalle $[a_i, b_i]$ associé à la transition ou à la place.

Il existe deux formes de réseau de Petri temporel :

- Les RdP t-temporels qui associent un intervalle temporel de sensibilisation aux transitions, ces modèles sont principalement utilisés pour l'étude des systèmes de télécommunication.
- Les RdP p-temporels qui associent un intervalle de temps aux places. Ces intervalles temporels spécifient des durées de séjour [7].

Les réseaux de Petri T-temporels

Un réseau de Petri T-temporel est un 6-uplet $(P, T, pre, Post, M_0, IS)$ tel que :

- $(P, T, \text{pre}, \text{Post}, M_0)$ est un réseau de Petri.
- $IS : T \rightarrow Q^+ \cup \{\infty\}$ (Q^+ est l'ensemble des nombres rationnels positifs) est la fonction d'intervalle statique, qui à chaque transition associe son intervalle statique, à bornes rationnelles de tir. On parle ici d'intervalle de tir statique, car en étudiant la dynamique du RdP, ces intervalles évoluent dans le temps, et on parle dans ce cas là d'intervalle dynamique de tir. Pour $t \in T$ tel que $IS = [a_i, b_i]$ avec $0 \leq a_i \leq b_i$, t ne peut être franchie qu'entre a_i et b_i . La transition doit nécessairement être franchie si elle a été sensibilisée pendant b_i .

Les RdP p-temporels

Un réseau de Petri p-temporel est un tuple $(P, T, \text{pre}, \text{Post}, M_0, IS)$ dans lequel :

- $(P, T, \text{pre}, \text{Post}, M_0)$ est un réseau de Petri marqué muni d'un marquage initial M_0 ,
- IS est une fonction qui à chaque place p fait correspondre un intervalle fermé de temps de séjour. $IS : P \rightarrow (Q^+ \cup 0) \times (Q^+ \cup \infty)$
 $p_i \rightarrow IS_i = [a_i, b_i]$ avec $0 \leq a_i \leq b_i$

IS_i définit l'intervalle statique de temps de séjour d'une marque dans la place p_i (Q^+ est l'ensemble des nombres rationnels positifs). Une marque dans la place p_i ne participe à la validation de ses transitions de sortie seulement si elle a séjourné au moins la durée a_i dans cette place. Elle doit quitter la place p_i , donc franchir l'une des ses transitions de sorties au plus tard quand sa durée de séjour devient b_i . Si elle ne peut pas le faire on dit que la marque est (morte) et ne participera plus à la validation des transitions. A l'état initial, l'intervalle associé aux marques est $[0, \infty[$, et dès qu'une marque arrive dans une place par franchissement d'une transition, elle prend l'intervalle associé à la place [8].

3.9.4 Les réseaux de Petri stochastique

Un réseau de Petri stochastique est le couple $(R; \Lambda)$ avec :

- R est le réseau de Petri $(P; T; \text{pre}; \text{Post}; M_0)$,
- Λ est une fonction qui à chaque transition t associe un taux de franchissement $\lambda_t = \Lambda(t)$. les réseaux de Petri stochastiques (RdPS) sont obtenus à partir des réseaux de Petri classiques en associant des durées de franchissement aléatoires aux transitions pour l'évolution du marquage. Ce type de RdPS est bien adapté pour la modélisation des phénomènes aléatoires où le temps entre deux événements n'est pas fixe. C'est le cas par exemple de bon fonctionnement (entre 2 pannes) d'une machine ou de mouvement d'un robot. Il permet de prendre en compte l'occurrence des défaillances et leur influence sur le comportement du système.
 Couramment les temporisations (durées) aléatoires sont distribuées selon la loi exponentielle de taux μ [8].

Cette loi est caractérisée par :

- ◇ Sa densité de probabilité : $h(t) = \mu e^{-\mu t}$.
- ◇ Sa fonction de répartition : $H(t) = 1 - e^{-\mu t}$.

3.9.5 Les réseaux de Petri stochastique généralisé.

Un réseau de Petri stochastique généralisé est un huit-uplet $(P, T, \text{pre}, \text{post}, \text{Inh}, \text{pri}, W, M_0)$ où :

- P : est l'ensemble des places ;
- T : est l'ensemble des transitions temporisées et des transitions immédiates ;
- $\text{pre}, \text{Post}, \text{Inh} : P \times T \rightarrow N$ sont les fonctions d'incidence avant, d'incidence arrière et d'inhibition respectivement ;
- $\text{pri} : T \rightarrow \{0, 1\}$ est la fonction de priorité qui associe à chaque transition temporisée la valeur 0 et à chaque transition immédiate la valeur 1 ;
- $W : T \rightarrow R^+$ est une fonction qui associe à chaque transition temporisée un taux de franchissement ;
- $M^0 : P \rightarrow N$ est le marquage initial du réseau [8].

3.9.6 Réseaux de Petri stochastiques non markoviens

Les SPN markoviens permettent un accès direct à l'étude probabiliste du processus de marquage. La restriction de la description temporelle aux distributions sans mémoire limite les domaines d'application des SPN markoviens et laisse beaucoup de questions sur l'exactitude des valeurs de performances obtenues par l'approximation des fonctions de distribution de délais de toutes les activités d'un système par des distributions markoviennes. Pour remédier à cet handicap, beaucoup de recherches ont été consacrées à la modélisation temporelle avec des distributions générale, que ce soit au niveau de la sémantique ou au niveau de la résolution de processus sous jacent, L'idée de modèle non markoviens est d'autoriser trois types de transitions :

- Les transitions immédiates, qui sont prioritaires sur les autres type de transitions.
- Les transitions temporisées à distributions exponentiel les appelées EXP transitions.
- Les transitions temporisées à distributions générales appelées GEN transitions.

3.10 Conclusion :

L'évaluation des performances sert à déterminer les forces et faiblesse d'un système d'une fonction donné ou d'un environnement donné. Parmi les techniques d'évaluation de performance on a présenté les réseaux de file d'attente qui permettent de modéliser les différents mouvements des conteneurs dans le terminal (débarquement, embarquement) ainsi que transfert des conteneurs vers le parc de stockage. Vue la complexité du système

des réseaux de file d'attente non markovienne, on a fait appelle aux réseaux de Petri qui nous permettent de combiner l'analyse qualitative et l'analyse quantitative et d'obtenir des résultats des indices de performances aisément. Ils permettent également d'inclure facilement les différentes structures de synchronisations et partage des ressources.

Chapitre 4

Modélisation et simulation du processus de débarquement

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons modéliser le mouvement du débarquement des conteneurs au niveau du terminal à conteneurs (BMT) en utilisant les deux approches : les réseaux des files d'attente et les réseaux de Petri qui semblent être les plus adaptés à cette situation.

La nouveauté dans cette modélisation par rapport aux modélisations faites dans les études précédentes, est l'ajout d'un nouveau poste (poste 25) extension du poste 24 actuel. Par la suite nous allons étudier l'impact de ce dernier sur la performance de la productivité du terminal.

4.2 Les principaux mouvements des conteneurs

- **Le mouillage du navire** : tout navire arrivant au port de Bejaia est mis en attente dans la zone de mouillage (rade) qu'est limitée par une ligne imaginaire s'étendant du Cap Carbon au Cap Aokas [18], pendant une durée qui varie d'un navire à un autre, en raison de l'occupation des postes à quai. Cette situation peut être modélisée par une file d'attente principale où les navires attendent l'étape d'accostage qui est assurée par la section opérationnel de l'EPB tel que les sections de pilotage et de remorquage. La discipline de service est FIFO.
- **Débarquement des conteneurs avec QCs** : cela s'effectue avec les deux QCs qui peuvent soulever le conteneur à partir du navire et de le mettre sur un camion remorqueur de la BMT. Ce processus peut être décrit par une file d'attente d'un serveur QC et les camions remorqueurs comme étant des clients.
- **Débarquement des conteneurs avec Grues** : cela s'effectue avec les deux grues (MHC, LHM) qui peuvent soulever le conteneur à partir du navire et de le mettre

sur le quai, puis le steaker va le charger sur un camion remorqueur de la BMT. Ce processus peut être décrit par deux files d'attente la première à un serveur grue et les 9 steakers sont les clients. Dans la deuxième les 9 steakers sont les serveurs et les camions remorqueurs sont les clients.

- **Le stockage** : une fois le conteneur débarqué sur le camion à remorque, il sera transporté vers le parc à terminal qui comporte 5 blocs. Chaque bloc est constitué de 56 piles et de 6 lignes et d'un gerbage de 6 niveaux au maximum. Le parc plein a une capacité de 10 300 clients EVPs, ou ils seront transportés au C.T.M.D (Centre De Transit Des Marchandises Dangereux) ou à la zone frigorifique s'il s'agit de reefer. cette situation peut être modélisée par une file d'attente les serveurs sont les 5 RTGs et les clients sont les camions remorqueurs. la discipline de service est FIFO .
- **La livraison** : la livraison concerne les conteneurs pleins c'est-à-dire la livraison directe avec une RTG qui charge un conteneur sur le camion du client. Ou bien une marchandise dépoté après avoir déplacée le conteneur vers la zone de dépotage avec un camion remorqueur de BMT et on le décharge avec un steaker. Le dépotage se fait avec des chariots élévateurs ou un groupe de travailleurs pour le décharger manuellement directement sur le camion de client.

Dans notre étude on a supposé que :

- la BMT affecte deux moyens de débarquement des conteneurs (deux QCs ou deux grues ou bien un QC et une grue) mais en réalité on arrive à décharger le navire avec trois moyens s'il s'agit de navire de grande charge.
- La BMT affecte quatre camions remorqueurs pour un seul moyen de débarquement pour minimiser le temps d'attente des camions devant le moyen utilisé. Résultat d'une étude faite à la BMT.
- la BMT utilise en priorité les camions portuaires pour le transfère des conteneurs aux blocs afin de gagner le temps et garantir la rapidité de l'opération, et fait appel au camions remorqueurs routières s'il y a une surcharge de travail.
- la BMT utilise 8 camions portuaires sur 14 et 16 camions routiers sur 24 à cause des pannes.
- Dans notre étude nous n'avons pas pris en considération le dépotage, puisque c'est une opération de pourcentage très petit 2%, donc n'influe pas vraiment sur la livraison.
- Les équipements et le parc plein seront les même en prenant en considération du nouveau poste 25.

4.3 Identification des lois des durées de service des déferents engins :

4.3.1 Collecte des données :

Pour réaliser la présente étude nous avons collectés les données au services manutention et acconage de la BMT, afin d'analyser le fonctionnement du processus de débarquement et d'évaluer ses performances. Pour cela nous avons chronométrés plusieurs observations pour chaque engin intervenant dans le processus pendant une période de plusieurs jours et à des différents moments de la journée durant les quatre shifts.

On a utilisé le logiciel EasyFit statistique pour l'identification de ces lois.

EasyFit : Logiciel d'ajustage de distributions :

EasyFit permet d'ajuster automatiquement les distributions aux données échantillon et de sélectionner le meilleur modèle en secondes. Il est conçu de façon à rendre l'analyse des données aussi facile que possible, laissant en coulisse les détails techniques compliqués et nous permettant ainsi de nous concentrer sur les objectifs de nos affaires [24].

Les avantages de EasyFit :

- Fait gagner du temps : réduit le temps d'analyses par rapport aux méthodes manuelles.
- Empêche les erreurs d'analyses et nous aide à prendre de meilleures décisions.
- Facile à apprendre et utiliser : ne demande que les connaissances de base de la statistique.

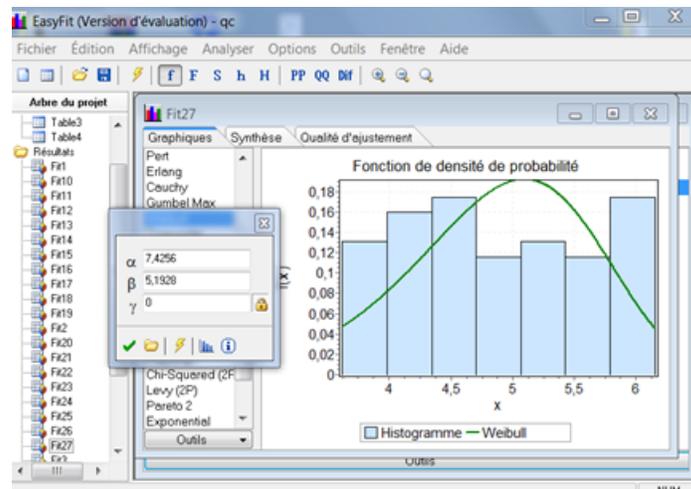


FIGURE 4.1 – L'interface de EasyFite 5.6 la partie d'ajustement.

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Khi-Carré	
		Statistique	Rang	Statistique	Rang	Statistique	Rang
1	Beta	0,10704	2	4,9462	47	N/A	
2	Burr	0,1563	31	2,183	36	10,035	40
3	Burr (4P)	0,14901	16	1,202	5	2,2311	14
4	Cauchy	0,16252	40	2,7607	40	5,233	28
5	Chi-Squared	0,56022	56	25,656	56	120,68	50
6	Chi-Squared (2P)	0,37994	52	17,043	53	41,216	48
7	Dagum	0,13889	11	1,2344	8	6,4895	34
8	Dagum (4P)	0,12287	7	1,2081	6	1,2813	1

FIGURE 4.2 – L’interface de EasyFit la partie qualité d’ajustement.

EasyFit permet de sélectionner facilement et rapidement la distribution de probabilités la mieux adaptée aux données. Ses fonctions clés comprennent :

- Prise en charge de plus de 55 distributions ;
- Mode d’ajustage de données puissant et automatisé ;
- Possibilité d’ajustage manuel de distributions ;
- Graphiques interactifs ;
- Tests de qualité d’ajustage ;

L’environnement intégré fourni par EasyFit comprend gestion de données, analyse et possibilités d’afficher des rapports qui nous permettent d’organiser notre travail et le rendre plus productif. Ses nombreuses fonctions uniques font de cet outil puissant d’analyse de données une solution très flexible. Avec EasyFit nous pouvons :

- Analyser nos groupes de données même s’ils sont très grands développer de meilleurs modèles en appliquant des distributions avancées ;
- Prendre de bonnes et rapides décisions avec des rapports hypertextes.

De plus, EasyFit permet de visualiser des graphiques de distributions et d’explorer leurs propriétés sans entrer les données, de générer des nombres aléatoires, de calculer les statistiques descriptives etc.

4.3.2 Identification de la loi de la durée de service des steakers (chargement d'un conteneur sur un camion) :

Soit X_1 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un steaker pour charger un conteneur sur un camion.

les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.1 :

La loi	normale	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.18097	0.22396	0.22388	0.49216
Valeur p	0.34793	0.10269	0.1029	8.8075 E-7
valeur critique	0.2417	0.24993	0.24993	0.24993
La décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	rejetée

TABLE 4.1 – Ajustement de la loi de service des steakers pour charger un conteneur sur un camion pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_1 par celle de la loi Normal de paramètres $\mu=1.4257$ et $\sigma=0.44208$.

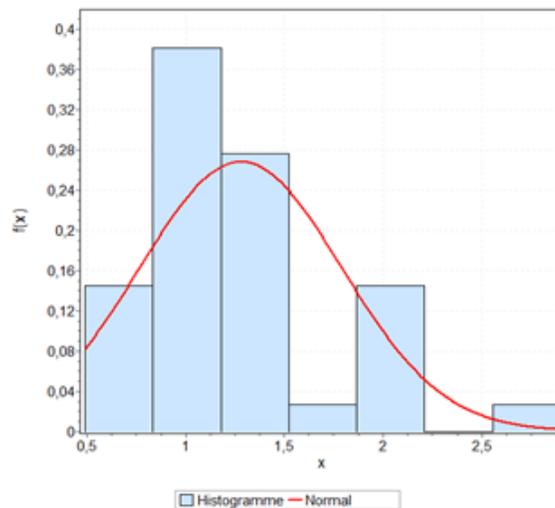


FIGURE 4.3 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service d'un steaker (chargement d'un conteneur sur un camion).

4.3.3 Identification de la loi de la durée de service des steakers (déchargement d'un conteneur sur un camion) :

Soit X_2 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un steaker pour décharger un conteneur sur un camion.

Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.2 :

La loi	Normale	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.15149	0.18973	0.27209	0.41958
Valeur p	0.32987	0.12201	0.00654	2.0320 E-6
valeur critique	0.21826	0.21826	0.21826	0.21826
La décision	Acceptée	Acceptée	rejetée	rejetée

TABLE 4.2 – Ajustement de la loi de service des steakers pour décharger un conteneur sur un camion pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_2 par celle de la loi Normal de paramètres $\mu=1.2484$ et $\lambda=0.42321$.

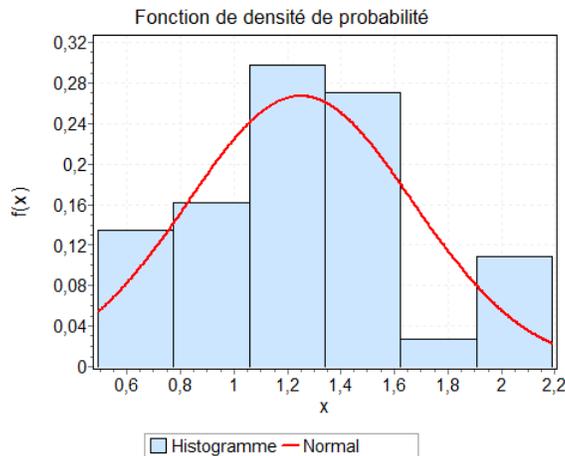


FIGURE 4.4 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service de steaker (déchargement d'un conteneur).

4.3.4 Identification de la loi de la durée de service de la grue :

Soit X_3 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe la grue pour décharger un conteneur sur un navire.

Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.3 :

La loi	Normale	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.11899	0.10288	0.13591	0.49239
Valeur p	0.79675	0.90957	0.65154	1.4530 E-6
valeur critique	0.25438	0.25438	0.25438	0.25438
La décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	rejetée

TABLE 4.3 – Ajustement de la loi de service de la grue pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_3 par celle de Weibull de paramètres $\alpha= 6.6079$ et $\beta=4.778$.

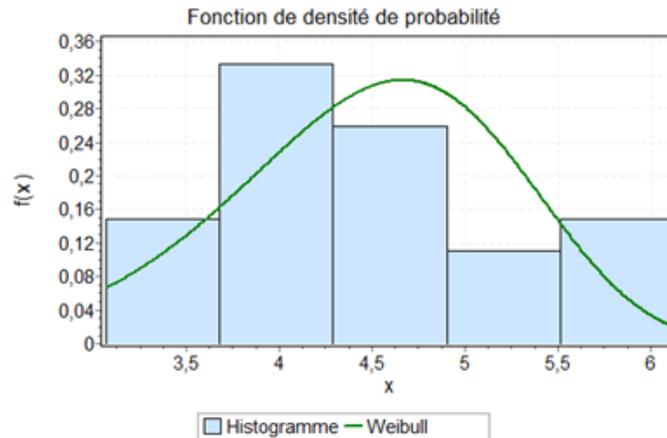


FIGURE 4.5 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service de la grue

4.3.5 Identification de la loi de la durée de service de QC :

Soit X_4 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe le QC pour décharger un conteneur sur un navire.

Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.4 :

La loi	Normale	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.17358	0.17779	0.16108	0.49239
Valeur p	0.24335	0.22003	0.04955	1.4530 E-6
valeur critique	0.23076	0.23076	0.16088	0.16088
La décision	Acceptée	Acceptée	rejetée	rejetée

TABLE 4.4 – Ajustement de la loi de service de QC pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_4 par celle de Weibull de paramètres $\alpha= 3.0334$ et $\beta=2.0911$.

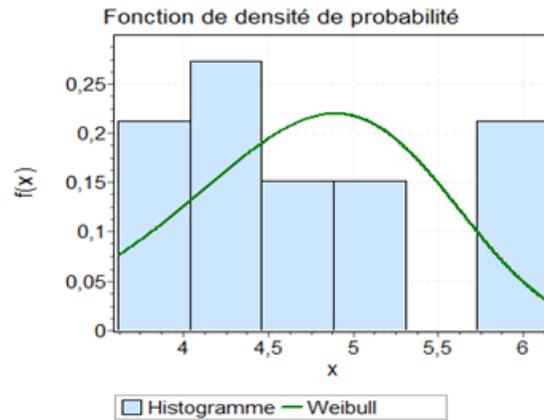


FIGURE 4.6 – L'historgramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service de QC

4.3.6 Identification de la loi de la durée de service des camions portuaire (quai vers le parc) :

Soit X_5 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion portuaire pour transporter un conteneur du quai au parc de stockage.
Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.5 :

La loi	Normal	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.13363	0.11726	0.15405	0.57847
Valeur p	0.71418	0.84284	0.5423	3.8817E-8
valeur critique	0.26404	0.26404	0.26404	0.26404
La décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	rejetée

TABLE 4.5 – Ajustement de la loi de service des camions portuaire pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_5 par celle de Weibull de paramètres $\alpha= 17.641$ et $\beta=23.862$.

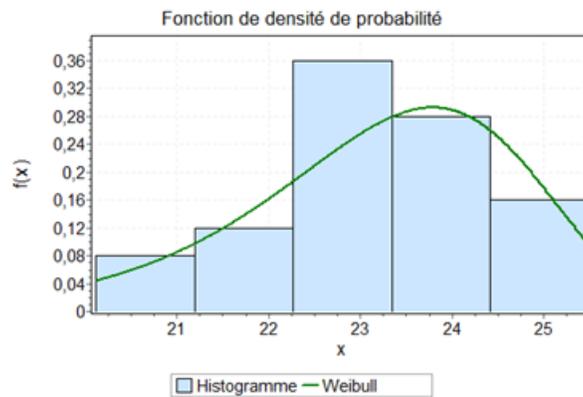


FIGURE 4.7 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service des camions portuaire.

4.3.7 Identification de la loi de la durée de service des RTGs (déchargement d'un conteneur) :

Soit X_6 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe une RTG décharger un conteneur sur un camion portuaire et le met dans le bloc. Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.6 :

La loi	Normal	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.22	0.17983	0.22283	0.47631
Valeur p	0.53557	0.77058	0.5195	0.00505
valeur critique	0.37543	0.37543	0.37543	0.37543
La décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	rejetée

TABLE 4.6 – Ajustement de la loi de service des RTGs pour déchargert d'un conteneur pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_6 par celle de Weibull de paramètres $\alpha= 3.6975$ et $\beta=1.6248$.

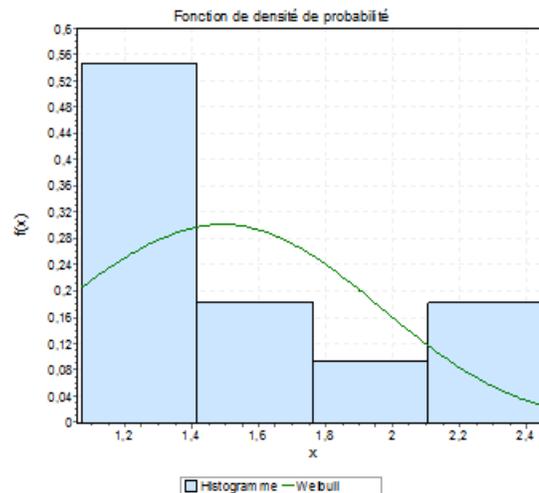


FIGURE 4.8 – L'histogramme et la courbe de la densité de probabilité de la loi de la durée de service des RTGs (déchargement d'un conteneur).

4.3.8 Identification de la loi de la durée de service des RTGs (chargement d'un conteneur) :

Soit X_7 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe une RTG charger un conteneur sur un camion (prend un conteneur de bloc et le met sur un camion). Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.7 :

La loi	Normale	Weibull	Erlang	Exponentiel
statistique	0.28301	0.294	0.37145	0.4682
Valeur p	0.20527	0.1722	0.04064	0.00392
valeur critique	0.36143	0.36143	0.36143	0.36143
La décision	Acceptée	Acceptée	rejetée	rejetée

TABLE 4.7 – Ajustement de la loi de service des RTGs pour charger un conteneur pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_7 par celle de Normal de paramètres $\mu= 1.6525$ et $\sigma=0.41196$.

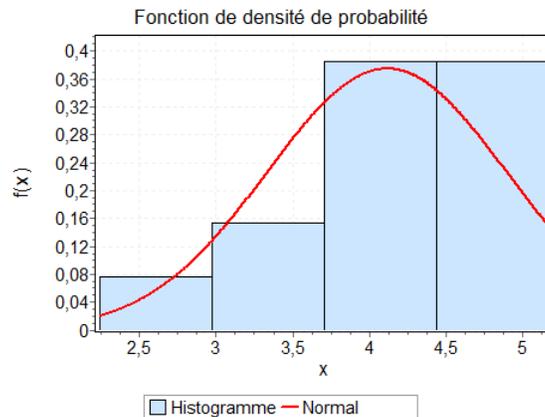


FIGURE 4.9 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service des RTGs (chargement d'un conteneur sur un camion).

4.3.9 Identification de la loi des inter-arrivées des groupes de conteneurs

Les arrivées dans le système correspond au arrivées de groupe de conteneurs (un navire). Soit X_8 la variable aléatoire représentant la durée en minute qui sépare l'arrivée de deux navires.

Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.8 :

la loi	Normal	Weibull	Erlang	Exponentiel
Statistique	0.1894	0.1995	0.29386	0.16401
Valeur P	0.11456	0.08415	0.0211	0.2316
valeur critique	0.21544	0.21544	0.21544	0.21544
Décision	Accepté	Accepté	Rejeté	Accepté

TABLE 4.8 – Ajustement de la loi des inter- arriver des groupes de conteneurs pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_8 par celle de exponentiel de paramètre $\lambda=5.5841e-4$,

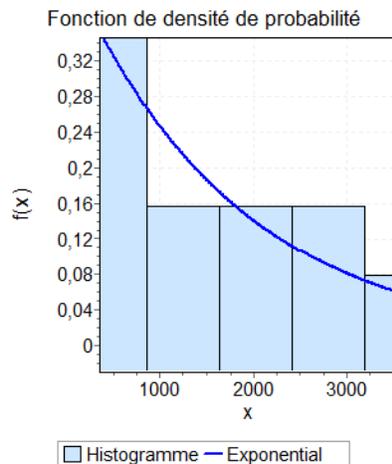


FIGURE 4.10 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi des inter-arrivées des groupes de conteneurs.

4.3.10 Identification de la loi de la durée de service des camions remorques routières (de parc vers la Zep vide) :

Soit X_9 la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion remorque routière pour transporter un conteneur du parc au zep vide.

Les résultats du teste de Kolmogorov-Smirnov sont représentés dans la table 4.9 :

la loi	Normal	Weibull	Erlang	Exponentiel
Statistique	0.17418	0.18638	0.20838	0.20264
Valeur P	0.67471	0.69113	0.55584	0.59064
valeur critique	0.36143	0.36143	0.36143	0.36143
Décision	Accepté	Accepté	Accepté	Rejeté

TABLE 4.9 – Ajustement de la loi de service des camions remorques routières pour $\alpha=0.05$.

L'interprétation des résultats : Le teste de Kolmogorov-Smirnov valide l'ajustement de la loi de la variable aléatoire X_9 par celle de Weibull de paramètres $\alpha= 6.0446$ et $\beta=51.494$.

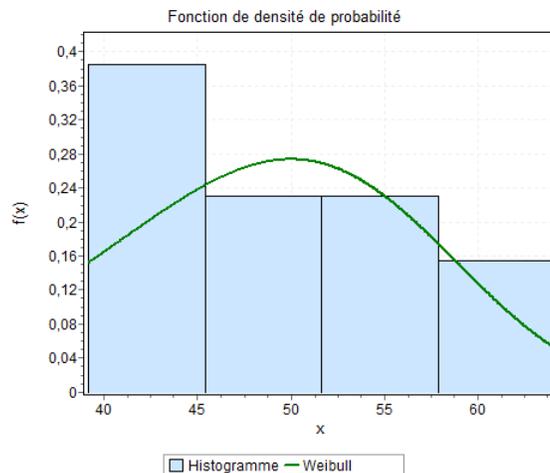


FIGURE 4.11 – L'histogramme et la courbe de densité de probabilité de la loi de la durée de service des des camions remorques routières.

4.3.11 Description du modèle :

Lors de la modélisation de mouvement des conteneurs du terminal à conteneurs BMT, on a dégagé un modèle de cinq stations qui représentent le parcours des conteneurs du navire aux clients.

– **Station 1 :**

Cette station comporte une file d'attente (la rade) de capacité finie, et deux serveurs deux engins parmi les quatre, deux QCs et deux grues (QC1, QC2, MHC et LHM) de type $M^{[X]}/G/2$. Le taux d'arrivées est $\lambda = 5.5841e-4$ et la loi de service des portiques de quai est la loi Weibull comme on les a identifiées avant.

– **Station 2 :**

Cette station comporte deux files d'attente à capacité finie représentant les camions à remorques, quatre devant un seul engin de débarquement (QC ou grue) qui seront servis par la suite par cinq serveurs indépendants en parallèle représentant les RTGs, de type $G/G/5/12$.

– **Station 3 :**

Cette station comporte 10 300 serveurs chaque place de stockage est considéré comme un serveur. Ce système est de type $G/G/10300/10300$.

– **Station 4 :**

La livraison des conteneurs comporte une file d'attente de capacité infinie représentant les clients avec cinq serveurs. Ce système peut être modélisé par $G/G/5/\infty$ de taux des arrivées $\lambda = 0.243$.

– **Station 5 :**

L'embarquement des conteneurs vides avec les deux serveurs QC et grue et les clients sont les conteneurs vides, ce système est de type $G/G/2/\infty$.

4.4 La modélisation du processus de débarquement et l'embarquement des conteneurs via les réseaux de Petri (RDP) :

Compte tenu de la description donnée dans la section précédente, la complexité du processus étudié, ainsi que la présence des phénomènes du parallélisme et du partage de ressource, nous a conduit à faire appel aux Rdp pour une évaluation adéquate et valide des différents indices de performances. Pour ce faire, le module Petri Net V12 du logiciel GRIF a été mis à profit.

Présentation de l'interface GRIF :

GRIF est une plate-forme logicielle d'analyse des systèmes qui permet de déterminer les indicateurs fondamentaux de la sûreté de fonctionnement : Fiabilité - Disponibilité - Performance - Sécurité [23].

Le module Petri du logiciel GRIF permet de modéliser le comportement de systèmes dynamiques complexes par réseaux de Petri. Ce module s'appuie sur Moca-RP (pour MOnte-CARlo Réseaux de Petri), un moteur de calcul ultra rapide basé comme son nom l'indique sur la simulation de Monte-Carlo.

La saisie des réseaux de Petri (Rdp) est très simple et s'appuie sur une interface graphique intuitive. Elle permet la création des places, transitions, arcs, jetons et de tous types de variables mathématiques et opérateurs logiques (OR, AND, If-Then-Else, Min (), Max ()...). Ces variables matérialisent des indicateurs et permettent d'agir sur la validation (prédicats) des transitions. Elles peuvent aussi être modifiées lors des tirs des transitions.

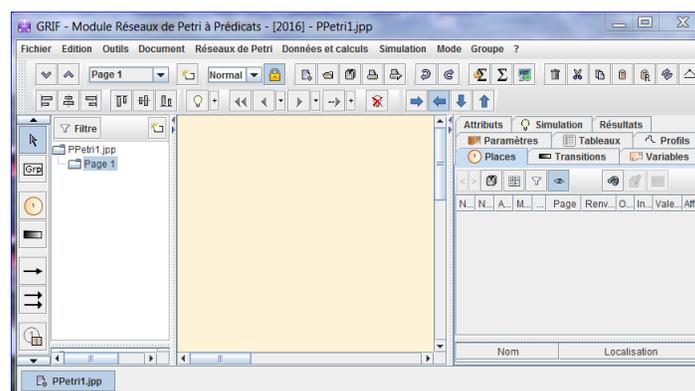


FIGURE 4.12 – L'interface de logiciel GRIF.

4.4.1 La modélisation du système de débarquement des conteneurs avec les RdP.

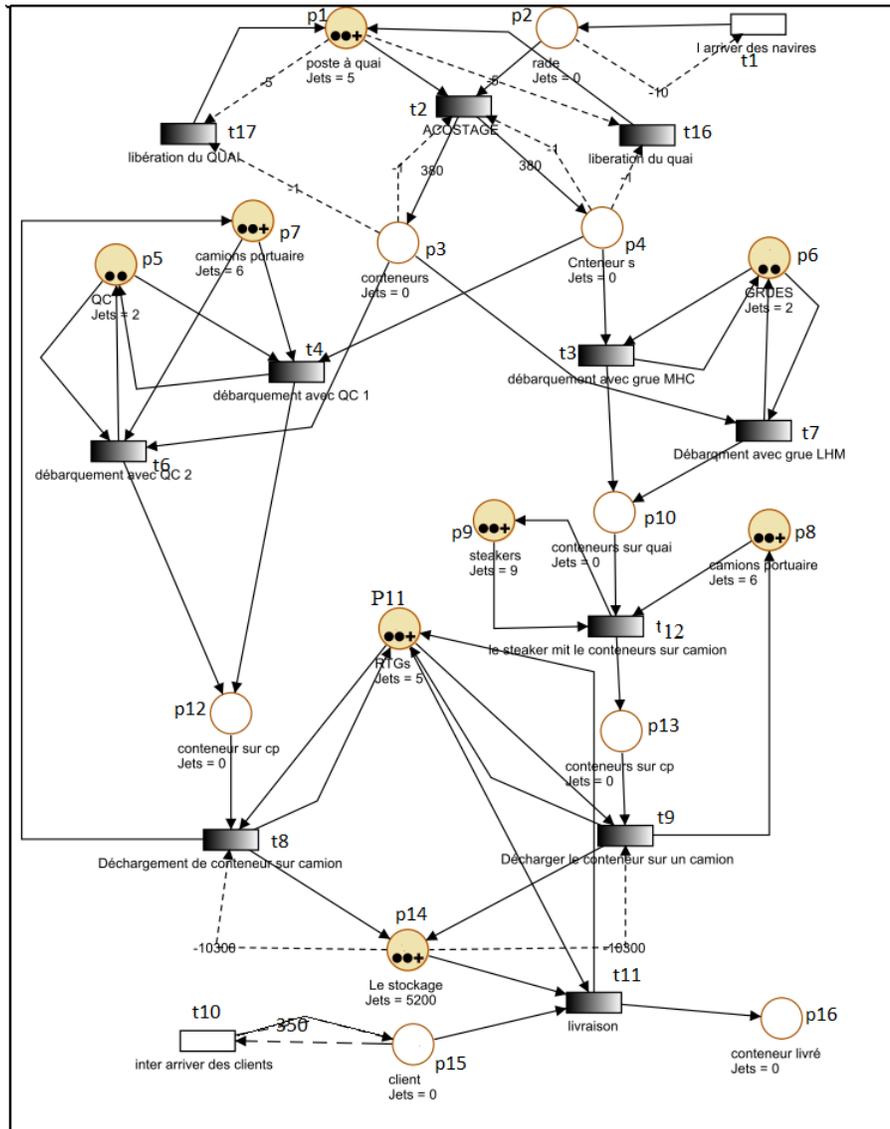


FIGURE 4.13 – La modélisation du processus de débarquement avec réseaux de Petri.

Déscription du modèle

Dans ce modèle on a :

- La place p_1 correspond aux cinq postes à quai.
- La place p_2 concerne la rade.
- La place p_3 et p_4 représentent le groupe de conteneurs transportés par un navire.
- La place p_5 marquée initialement par deux jetons qui représentent les deux QCs.
- La place p_6 marquée initialement par deux jetons qui représentent les deux grues.
- La place p_7, p_8 marquées initialement par six jetons qui représentent les deux camions à remorque.
- La place p_9 marquée initialement par neuf jetons qui représentent les steakers.
- La place p_{10} représente les conteneurs sur quai (conteneur débarqué avec la grue).
- La place p_{11} marquée initialement par cinq jetons qui représentent les RTGs.
- La place p_{12}, p_{13} représentent un camion qui transporte un conteneur vers le bloc de stockage.
- La place p_{14} représente les blocs de stockage de capacité maximale 10300 EVP.
- La place p_{15} représente la file des clients qui arrivent.
- La place p_{16} contient les conteneurs livrés.

Lors du franchissement de la transition t_1 indique l'arrivée d'un navire à la rade, donc la place p_2 reçoit un jeton.

La présence d'un jeton dans la place p_2 indique la présence d'un navire dans la rade, la présence d'un jeton dans la place p_1 indique qu'un poste à quai est libre, ces deux jetons franchissent la transition t_2 indiquant l'accostage d'un navire. Suite au tir de la transition t_2 un nombre k de jetons sera mis dans la place p_4 et un autre nombre k' sera mis dans la place p_3 , qui correspond aux nombre de conteneurs transportés par le navire.

Compte tenu de de l'hypothèse notre modèle consiste à débarquer un navire avec deux moyens un QC et une grue. Un jeton de la place p_3 représentant un conteneur, avec un jeton de la place p_5 représentant la disponibilité d'un QC et un autre de la place p_7 représentant un camion libre seront tirés pour franchir la transition t_6 indiquant le débarquement avec QC2.

(c'est la même chose pour le débarquement de l'autre navire avec le QC1, le franchissement de t_4).

La transition t_7 est franchie représentant le débarquement avec la grue, si on a un jeton dans la place p_6 (la grue) et un autre jeton dans la place p_3 (conteneurs). Par conséquent la place p_{10} reçoit un jeton représentant le conteneur sur le quai.

Si la place p_8 contient un jeton (camion portuaire) et la place p_9 contient un jeton (steaker) et la place p_{10} contient un jeton, la transition t_{12} sera franchi représentant le steaker qui met le conteneur sue le camion, par conséquence la place p_{13} reçoit un jeton représente le conteneur sur le camion.

les deux transition t_8 et t_9 seront franchies à la présence d'un jeton dans la place p_{11} indique la disponibilité d'une RTG pour le déchargement des conteneurs sur les camions.

Le franchissement de la transition t_{10} représente l'arrivée des clients, donc l'augmentation de nombre de jetons dans la place p_{15} .

La transition t_{11} qui indique la livraison d'un conteneur sera franchie s'il y a un autre jeton dans la place p_{14} (le conteneur demandé par le client). Un jeton donc est enlevé de p_{14} et mise dans p_{16} qui représente un conteneur livré.

la fin de débarquement d'un navire, o jetons dans la place p_3 et p_4 cela franchie les transition libération de quai t_{16} et t_{17} , un jeton sera mis dans la place p_2 .

4.4.2 La modélisation de processus d'embarquement des conteneurs avec les RdP.

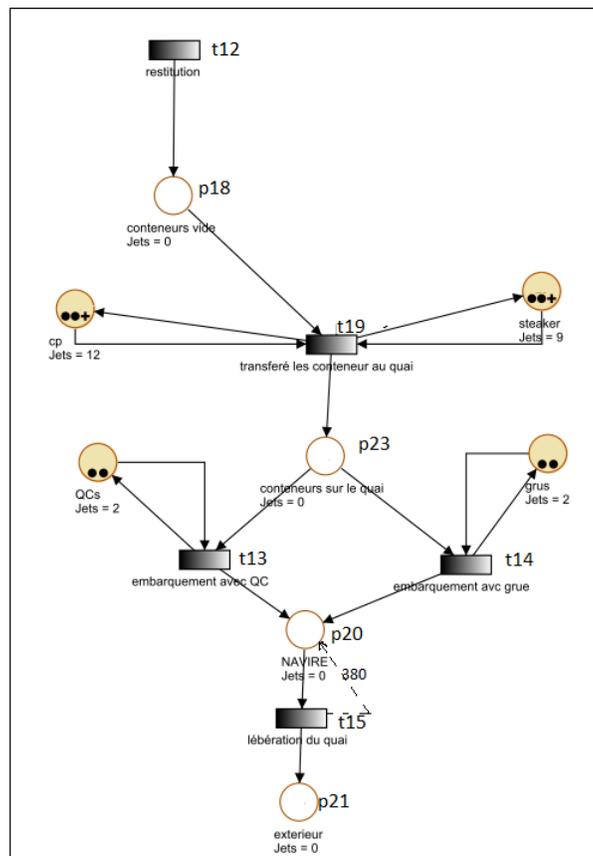


FIGURE 4.14 – La modélisation du système d'embarquement avec réseaux de Petri.

Description du modèle

Les conteneurs livrés aux clients seront restitués au parc vide de BMT par le franchissement de la transition restitué t_{12} donc la place P_{18} reçoit un jeton qui correspond à un conteneur vide.

Le franchissement de la transition t_{19} indique le transfère des conteneurs vide au quai, cela se fait avec la disponibilité d'un steaker et un camion donc un jeton de la place steaker et un autre de la place cp seront supprimés et déposés dans la place conteneurs sur quai p_{23} .

Après le transfère des conteneurs aux quai, l'embarquement des conteneurs au navire, avec la grue et le QC louées pour le traitement de chaque navire. Suit au tire des transitions t_{14} et t_{13} , un jeton de la place p_{23} sera déposé dans la place p_{20} .

L'embarquement de M conteneurs au navire tire la transition t_{15} qui indique la libération du quai. On suppose que M inférieur ou égale au nombre de conteneur débarqués de navire.

4.5 Les résultats de la simulation et le calcule des performance :

Les résultats issus de la simulation du RdP développé, sont présenté ci-dessous :

- Les temps de séjours moyen d'un navire :

<i>Séjour moyen en rade</i>	<i>Séjour moyen à quai :</i>
4032 min = 2.8 jours	2520 min = 1.75 jours

- La durée moyennes du service :

<i>Engins</i>	<i>Durée moyenne de service</i>
<i>QC</i>	2.5802 min
<i>Grue</i>	3.3501 min
<i>RTG</i>	1.9772 min
<i>Steaker</i>	1.3061 min
<i>Camion à remorque (entre le quai et le parc de BMT)</i>	12.8775 min
<i>Camion à remorque (entre le quai et la ZEP vide)</i>	59.2106 min

- Le pourcentage de taux de livraison :

<i>Le taux de livraison</i>
78.83%

- Le pourcentage de taux de saturation de parc BMT :

<i>Le taux de saturation de parc BMT</i>
98.52%

- Traitement des EVPs :

<i>Le nombre moyen des EVPs / heure</i>	30
<i>Nombre moyen des EVPs/navire</i>	380
<i>Nombre moyen des EVPs débarqués /mois</i>	7904
<i>Nombre moyen des EVPs embarqués /mois</i>	8120
<i>Durée moyen d'inter-arrivées des EVPs au parc BMT</i>	2.8667 min

- Traitement des navires :

<i>Nombre moyen de navires traités/jour</i>	2 navires
<i>Nombre moyen de navires traités/mois</i>	35 navires

Interprétation

Les résultats de la simulation montrent qu'un navire reste en moyen 2.8 jours en attente dans la rade, et 1.75 jours à quai, La BMT traite 2 navire en moyen par jour, avec 30 EVP par heure. La durée moyenne de service de QC est de 2.5802 minutes, la durée de service moyenne de la grue est de 3.3501 minutes, la durée moyenne de service de steaker est de 1.3061 minutes, la durée moyenne d'une rotation d'un camion de quai vers le parc du BMT est de 12.8775 minutes.

La durée moyenne des inter-arriver des EVPs au parc du terminale est 2.8667 minutes, et la durée moyenne d'une rotation d'un camion à remorque de parc au ZEP vide est de 59.2106 minutes.

On a trouvé que 7904 EVP seront affecté au parc, et 8120 EVP a l'exportation, le parc sera saturé au 98.52%.

Ces résultats à savoir le temps moyen de séjour d'un navire à quai, et l'attente moyenne au rade sont jugés importante par la BMT, le nouveaux poste à quai influence négative sur le parc de la BMT, se qui donne la nécessité de la mise en exploitation des zones extra portuaire plein celle d'Ighil Oubarouaq et TEXTER.

4.5.1 Comparaison des résultats simulé et bilan de 1^{er} trimestre 2016 de la BMT :

	1 ^{er} trimestre 2016	Résultats obtenus	Var %
<i>Séjour moyen en rade</i>	4.6 jours	2.8 jours	-38%
<i>Séjour moyen à quai</i>	3.04 jours	1.75 jours	-42.43 %
<i>Nombre d'EVP traité</i>	6 311 EVP	7904 EVP	+25%
<i>Taux de saturation de parc BMT</i>	85 %	98.52%	+15.9 %

Interprétation et discussion :

Ces résultats sont très satisfaisante pour la BMT c'est une amélioration intéressante pour la qualité de service, tel que le séjour moyen en rade d'un navire baisse avec 38 %, et le séjour à quai de 42.43%, ce qui permet au trafic des conteneurs de flécher de 25%. Cela due à l'augmentation de nombre de quai (cinq poste à quai) et la surface d'entreposage 20 000 m², qui offre un meilleur service en diminuant le risque de congestion des quais et l'amélioration de la cadence de traitement des navires. Par contre ce nouveau poste à quais permet de traiter d'autre navires au même temps ce qui vas augmenter le risque d'interférence entre les opérations des navires, donc, un nouveau quai nécessite plus d'équipement de manutention et d'entreposage.

Cette amélioration de trafic de conteneurs a engendré un problème de saturation de parc à terminale à plus de 98% ce qui vas crée un blocage.

4.5.2 Variation des paramètres :

L'augmentation de nombre un QC et le nombre de camions portuaire :

le nombre de portique de quais à installer sur le terminal constitue une décision importante puisqu'elles représentent un équipement le plus dispendieux sur le terminal, pour améliorer la productivité du terminal avec ce nouveau quai on propose d'ajouter une portique de quai QC de préférence, car le QC est plus rapide que la grue, et d'augmenter aussi le nombre de camions portuaire à 20 camions, pour faire palier au problème d'interférence entre les opérations.

On a fait une étude prévisionnel avec ces variation dans les résultats sont présenté ci dessous :

- Les temps de séjours moyen d'un navire :

<i>Séjour moyen en rade</i>	<i>Séjour moyen à quai :</i>
3960 min = 2.75 jours	2088 min = 1.45 jours

- Les durées moyens du service :

<i>Engins</i>	<i>Durée moyenne de service</i>
<i>QC</i>	2.3621 min
<i>Grue</i>	3.1589 min
<i>RTG</i>	1.9312 min
<i>Steaker</i>	1.6061 min
<i>Camion à remorque (entre le quai et le parc de BMT)</i>	10.1203 min
<i>Camion à remorque (entre le quai et la ZEP vide)</i>	59.25 min

- **Le pourcentage de taux de livraison :**

<i>Le taux de livraison</i>
73.27%

- **Le pourcentage de taux de saturation de parc BMT :**

<i>Le taux de saturation de parc BMT</i>
99.52%

- **Traitement des EVPs :**

<i>Le nombre moyen des EVPs / heure</i>	30
<i>Nombre moyen des EVPs/navire</i>	380
<i>Nombre moyen des EVPs débarqués /mois</i>	8726
<i>Nombre moyen des EVPs embarqués /mois</i>	8530
<i>Durée moyen d'inter-arrivées des EVPs au parc BMT</i>	2.2967 min

- **Traitement des navires :**

<i>Nombre moyen de navires traités/jour</i>	3 navires
<i>Nombre moyen de navires traités/mois</i>	40 navires

Interprétation et discussion :

Ces résultats montrent une amélioration des indices de performances tel que le séjour d'un navire en rade de 1.78%, et à quai de 17.14%, et en une légère baisse de la durée moyen de service des engins de manutention, mais le taux de saturation de parc à conteneurs atteint 99% résulte de l'augmentation de nombre de navires traités et par jour.

Comme on a cité dans la partie projets d'investissement de la BMT, les deux Zones Extra Portuaire plein TEXTER de 20 ha et d'IOB de 5 ha, seront mises en exploitation courant de l'année 2016 et offriront une assise physique d'envergure, des équipements et des

installations adéquats, ces espaces présentent des potentiels très importants en matière de multimodalité. Ils permettront à terme d'apporter une valeur ajoutée à la fois au port, par l'augmentation de ses capacités d'accueil des marchandises et aux opérateurs qui pourront mieux organiser leurs opérations d'import/export, par le truchement d'offres logistiques «door to door», favorisant une meilleure maîtrise de la chaîne d'approvisionnement et de distribution [17]. 80% de livraison vers le parc ZEP plein d'IOB diminue la saturation de parc à 97.05 % [22]. Plus le transfert des conteneurs des clients des haut palataux aux ZEP plein de TEXTER plus de 5700 EVP [20] diminue la saturation au moins de 87 %. donc ces Zones Extra Portuaire plein terminal, donnent un équilibre au parc de stockage BMT et décongestionnent le terminal à conteneurs.

Variations de taux de saturation du parc par rapport au taux de livraison

l'augmentation de taux de livraison %	Saturation du parc %
+10%	93,67%
+15%	80,06%
+20%	73,61%
+50%	66,78%

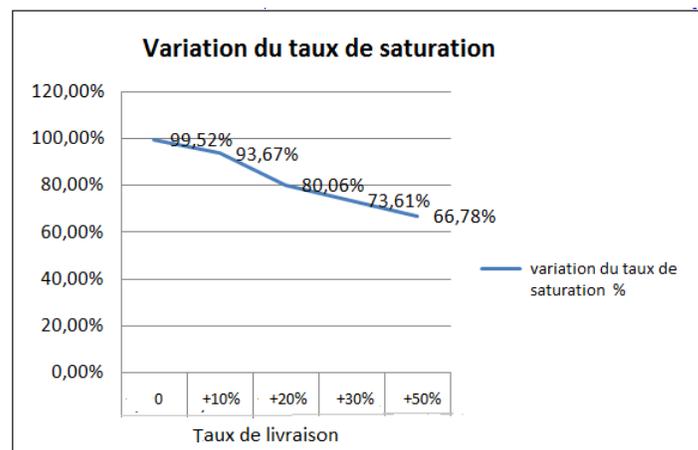


FIGURE 4.15 – Variations de taux de saturation du parc.

Interprétation

La courbe montre que l'augmentation de taux de livraison des conteneur diminue la saturation du parc tel que si la livraison atteint 400 conteneurs par jour la saturation du parc diminue jusqu'au 66%.

4.6 Conclusion

La réalisation du poste 25, permet au terminal à conteneurs de Bejaia d'enregistrer une progression de trafic à conteneurs, à l'import et à l'export, avec une amélioration de qualité de service tel que l'attente moyenne en rade et le séjour à quai d'un navire. Dans un premier temps, on a évalué les performances de la productivité du terminal avec le nouveau poste à quai, sur la base des conditions actuelles. Dans un second temps, vue le risque d'interférence entre les opérations des navires, on a déterminé ces mêmes performances au cas d'augmentation du nombre de QC et le nombre de camions portuaires. Les résultats obtenus sont considérablement amélioré, et avec l'augmentation de taux de livraison le parc de stockage sera moins saturé.

La mise en exploitation de la ZEP plein d'IOB et de TEXTER sont d'une importance cruciale à la réussite de la BMT.

Conclusion générale

A partir des années 90, la globalisation avec ses vastes mouvements de libéralisation a provoqué des changements dans la structure de l'économie mondiale. L'industrie portuaire est ainsi amenée à faire face aux nouveaux défis et opportunités de la globalisation où les ports sont de plus en plus appelés à répondre comme centres de transports intégrés et plates-formes logistiques. Aussi à faire face à l'évolution de l'industrie (conteneurisation, navires de grande taille, nouvelles technologies de communications, etc.) qui implique des investissements lourds en équipement.

L'entreprise portuaire de Béjaia a mis en place un plan de développement axé sur des projets d'infrastructures stratégiques dont le montant total dépasse les 13 milliards de dinars pour la période 2013 - 2015[19]. Cela a pour objectif le renforcement des capacités commerciales du port, amélioration de ses performances logistiques et renforcement de ses capacités d'accueil des marchandises en améliorant la qualité de service tel que l'attente en rade et le séjour à quai[19].

Notre étude s'articule autour de l'évaluation des performances du terminal à conteneurs BMT avec une nouvelle dimension, le poste 25 une extension de poste 24 actuel. Ce nouveau quai est caractérisé de 170 m linéaires avec un tirant d'eau de -12 m et 2 ha de capacité d'entreposage. Cette extension offre à la BMT un nouveau quai stratégique pour le traitement des marchandises générales, et d'améliorer l'exploitation des quais à conteneurs sans contraintes des périmètres de sécurité exigés à chaque accostage.

Dans notre travail, nous avons appliqué pour la première fois les réseaux de Petri, pour modéliser et évaluer les performances du processus de débarquement et d'embarquement de BMT. La complexité du processus étudié, ainsi que la présence des phénomènes du parallélisme et du partage de ressources, nous a conduit à faire appel aux RdP pour une évaluation adéquate et valide des différents indices de performances. Pour ce faire, le module Petri Net V12 du logiciel GRIF a été mis à profit.

Les résultats qu'on a obtenus montrent qu'un nouveau poste à quai pour la BMT permet d'enregistrer une progression de trafic à conteneurs à l'import et à l'export, et permet d'améliorer la qualité de service (tel que l'attente moyenne en rade et le séjour à quai) d'un navire. Dans un premier temps, on a évalué les performances de la productivité

du terminal avec le nouveau poste à quai, sur la base des condition actuelle. Dans un second temps, vue le risque d'interférence entre les opérations des navires, on a déterminé ces mêmes performances au cas d'augmentation du nombre de QC et le nombre de camions portuaires. Les résultats obtenus sont considérablement améliorés, et avec l'augmentation de taux de livraison, le parc de stockage sera moins saturé.

La mise en exploitation de la ZEP plein d'IOB et de TEXTER sont d'une importance cruciale à la réussite de BMT.

Dans cette étude nous avons traité l'impact de poste 25 sur les indices de performances du terminal à conteneurs BMT dans l'état actuel. Il serai intéressant de compléter ce travail en traitant la problématique suivante :

l'impact du poste 25 sur les performances des processus d'embarquement et débarquement de la BMT en incluant le parc sec TEXTER et ZEP plein d'IOB.

Bibliographie

- [1] A. Aissani et D. Aissani. Réseau de file d'attente. U.S.T.H.B. Alger, 1988.
- [2] Y. Arda. Politique d'approvisionnement dans les Système à Plusieurs Fournisseurs et Optimisation des Décisions Dans Les Chaines Logistique Décentralisées. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2014.
- [3] N. Ayache et R. Hadja. Évaluation des performances du terminal à conteneurs BMT(Béjaia Mediterranean Terminal). Mémoire d'ingénieur, Université de Béjaia, 2007.
- [4] A. Benghalia. Modélisation et Évaluation De La Performance Des Terminaux Portuaires. Thèse de doctorat, Université du Havre, 2015.
- [5] N. Benoit. Le transport maritime et le développement de la conteneurisation. Mémoire de fin d'étude, Université de Havre, 2003.
- [6] J.P.Chemla, Modélisation et analyse des systèmes de production, Polytech Tours, département Productique, 2ème année.
- [7] M. Diaz. Les réseaux de Petri, modèles fondamentaux. Hermès Science Publications, Paris, 1 édition, 2001.
- [8] S. Hakmi. Évaluation des performances des système prioritaires à l'aide des réseaux de petri stochastiques généralisés (RdPSG). Thèse de magistère, université Béjaia, 2011.
- [9] S. Harfouche. Gestion de conteneur Bejaia Mediterreane Terminale (BMT). Mémoire d'ingénieur, Université de Béjaia, 2009.
- [10] G. Karen, Polytech' Montpellier, ERII4 - Cours "Automatismes et SED " .
- [11] S. Kebbas, Contribution à la Correction et l'Amélioration de la Qualité de Service dans une Entreprise Publique, en utilisant les Réseaux de Files d'Attente.
- [12] O. Lekadir and D. Aïssani. Approximation de Deux Files d'Attente en Série avec

Blocage et PrioritéRelative. In Actes du Colloque International Statistique des Processus et Applications, Constantine, Algérie, Octobre 2008.

[13] A. Ruegg. Processus stochastiques avec application aux phénomènes d'attente et de fiabilité, école polytechniques romandes édition, 1989.

[14] K.Tamiti et M.Ouazen, Modélisation du nombre de conteneurs importes et exportes au niveaux de la BMT par le modèle MA(Q), Mémoire de Master, université de Bejaia, 2013.

[15] Le site de BMT [http ://www.béjaiamed.com/2016](http://www.béjaiamed.com/2016).

[16] Productivité des terminaux à conteneurs , Centre d'Etude Technique Maritime et Fluvial, juillet 2011.

[17] [http ://www.norme-iso.com](http://www.norme-iso.com).

[18] Le site de port de Béjaia.[http ://www.port debejaia.dz](http://www.port debejaia.dz).

[19] [http ://www.méditerrané.com/2016](http://www.méditerrané.com/2016).

[20] Rapport Annuel et Statistique de port de bejaia, 2014.

[21] Rapport Annuel et Statistique de port de bejaia, 2015.

[22] M. Zitouni S. Mebarki. Évaluation des performances de la nouvelle zone extra portuaire plein de BMT et son impact sur la congestion du parc. Mémoire de Master , Université de Bejaia, 2015.

[23] Manuel utilisateur GRIF Réseaux de Petri à prédicats, version 27 mars 2015.

[24] [http ://www.mathwave.com](http://www.mathwave.com)

Résumé

De nos jours, le transport maritime qui est en pleine évolution, joue un rôle très important dans le monde économique. Face à ce contexte, les terminaux à conteneurs sont tenus à améliorer continuellement leurs performances pour rester compétitifs.

Le port de Bejaia est confronté au problème de la congestion de la rade tel que l'attente moyenne d'un navire qui atteint 4.6 jour en 2015. Cela est dû principalement au nombre limité de poste à quai de déchargement, et à la lenteur de processus de débarquement d'un navire sur le quai où cette opération prend en moyenne 3.04 jours.

Pour faire palier à ce problème qui influe sur la qualité de service de la BMT, l'EPB a investi dans plusieurs projets d'amélioration de la desserte terrestre du port, ou encore le développement des zones extra portuaire et l'extension du port.

Pour voir l'impacte de cette extension à la productivité du terminal, on a élaboré une modélisation de différents processus de débarquement et d'embarquement via les réseaux de Petri. On a utilisé le logiciel GRIF module Petri Net V12, pour la modélisation et le calcul des performances de la productivité du terminal, du quai au parc de stockage.

Mots clés : Entreprise BMT, conteneurisation, Évaluation des performances, Réseaux de Petri, Simulation.