

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

Mebarki S., Zitouni M., Rahmoune F. et Aïssani D.

rahmouneaoudia@gmail.com et lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé L'augmentation du trafic conteneurisé par an, par l'entreprise BMT est à l'origine de la création des ZEP (plein et vide), afin d'assurer une fluidité de congestion du terminal saturé par la lenteur des enlèvements dûs aux procédures. Dans cette situation, les zones logistiques extra-portuaires s'affichent primordiales dans la continuité compétitive de l'entreprise. Pour pallier à ce problème, une modélisation mathématique a été élaborée et les différents processus intervenants dans le fonctionnement des différents moyens de manutention ont été décrits, en se servant des files d'attente. Les résultats obtenus par l'approche simulation ont servi à évaluer les performances des différentes stations étudiées, depuis le quai de débarquement jusqu'à la ZEP-Plein, en passant par le parc de terminal et la zone de transfert (tampon). La variation des performances a été dégagée en cas de variation des paramètres d'entrée.

Key words: Entreprise BMT, Conteneurisation, Modélisation, files d'attente, Simulation à événement discrets, Evaluations des performances.

10.1 Introduction

La mondialisation a engendré une accélération des échanges internationaux et une augmentation des distances constatées entre les zones de production et les zones de consommation. Ainsi, au cours de ces dernières années, le commerce mondial de marchandises a augmenté en moyenne de 5.5% par an soit le double de l'accroissement de la production mondiale. Traitant plus de 85% du volume des échanges internationaux, le transport maritime a connu un taux annuel moyen de progression de 5% au cours de ces dernières années. Au-delà de l'augmentation spectaculaire du volume des échanges assurés par le transport maritime, ce secteur a connu une autre mutation avec la conteneurisation massive des marchandises. La conteneurisation a révolutionné l'industrie portuaire aux plans national et international. Elle a eu une incidence déterminante sur la conception et la taille des navires, sur l'aménagement, l'équipement, les installations, les opérations et l'emploi dans les ports, sur les normes applicables aux transports intérieurs ainsi que sur l'aménagement de l'espace, les qualifications de la main-d'œuvre et l'idée que se font les chargeurs du fonctionnement de la chaîne de transport. De nos jours, les ports performant désormais des fonctions d'interface servant aux marchandises en consignation ou provenant de milliers de kilomètres d'un port donné. Les ports maritimes existent pour faciliter le transfert des marchandises des transports intérieurs au transport maritime et vice-versa, et pour permettre aux marchandises d'entrer dans le pays et d'en sortir aussi rapidement et aussi efficacement que possible. La prospérité de tous les pays dépend dans une très large mesure du commerce extérieur. Parmi les dix ports commerciaux que dispose l'Algérie, le port de Bejaïa géré par l'EPB (entreprise portuaire de Bejaïa) affiche une croissance et une dimension internationale, bénéficie d'un positionnement stratégique lui permettant de mettre en avant ses qualités et son plein potentiel sur le plan international, une place, un historique et un

lieu de transit stratégique territorial et international. Evidemment comme la plus part des ports à dimension universel, le terminal a conteneurs s'affiche primordial, constituant une avancée certaine concernant la privatisation d'une activité portuaire pour la BMT, joint-venture à capitaux mixtes de droit algérien entre l'EPB et le groupe singapourien PORTEK [22]. Ce partenariat a permis de faire une restructuration radicale du parc à conteneurs de l'EPB en augmentant sa capacité de 2100 EVP à 10300 EVP. Le terminal a conteneurs actuel BMT est doté de 4 quais parallèles d'une longueur de 500 mètres, d'un tirant d'eau de 12 mètres, d'équipements modernes et d'un personnel ayant un esprit professionnel dans le domaine du traitement du conteneur. Le volume total des marchandises diverses conteneurisées a atteint plus de 1.7 millions de tonnes en 2014, en baisse de 8 par rapport à 2013. Le nombre de conteneurs a lui aussi régressé aussi bien à l'import avec -4 et à l'export avec -5 la congestion du terminal saturé par la lenteur des enlèvements due aux procédures. Les délais d'enlèvement des conteneurs se situent aujourd'hui à hauteur de 21 jours. Afin d'assurer un bon fonctionnement du terminal à conteneurs, des études d'évaluation de ses performances ont été également nécessaires. Une première étude a été réalisée en 2007 [7]. Elle avait pour objectif la modélisation globale du processus de débarquement/embarquement et avait montré que si le nombre de navires, qui était alors de 0.83 navires/jour, de taille moyenne de 170 EVP, augmente à 1.4 navires /jour (ou bien si la taille des groupes augmente à 290 EVP), le parc plein subira une saturation de 94. Une deuxième étude a été réalisée en 2008 [8]. Elle avait pour objectif d'analyser le fonctionnement du parc à conteneurs de l'entreprise BMT afin d'évaluer ses performances, puis de prévoir le comportement du système en cas d'augmentation du flot des arrivées des navires porte-conteneurs. Dans cette étude, un nouveau modèle a été proposé en décomposant le modèle global en quatre sous systèmes indépendants, à savoir : le processus "embarquement", le processus "débarquement", le processus "stock plein" et le processus "stock vide". Une troisième étude a été réalisée en 2009 [6]. Elle avait pour objectif de déterminer le nombre optimal des camions remorqueurs à acheminer lors des processus embarquement et débarquement, afin de minimiser les durées d'attente du QC et des Camions remorqueurs ainsi que la durée de service d'embarquement et de débarquement. Une quatrième étude a été réalisée en 2011 [4]. Elle avait pour objectif de déterminer le nombre optimal des RTGs à utiliser lors du processus de débarquement en fonction des Grues de quai utilisées puis d'effectuer une étude comparative entre le QC et la grue mobile portuaire (MHC) acquise en terme de productivité. Une cinquième étude a été réalisée en 2011 [5]. Elle porte essentiellement sur l'étude pour la première fois des performances de la Zone Extra Portuaire (vides) de Béjaïa, et sur sa capacité à faire face aux différents changements qui peuvent surgir. Un modèle mathématique a été élaboré afin de décrire les différents processus qui s'y déroulent. La simulation a permis d'évaluer les performances du parc, dans les conditions actuelles et dans le cas d'augmentation du trafic, ainsi qu'en fonction du nombre de camions. L'amélioration de la desserte terrestre du port, le soutien au report modal en faveur du rail ou encore le développement de zones logistiques et d'avant ports situés à l'intérieur ou même à l'extérieur de la circonscription portuaire sont donc aujourd'hui au cœur du rôle qui devrait être joué par l'Autorité portuaire. Il est à noter que les plateformes logistiques développées dans la majorité des ports visent non seulement à faciliter la transition des marchandises du port à l'arrière pays et vice versa mais également et surtout de renforcer la valeur ajoutée des activités portuaires : En témoigne l'importance des activités de conditionnement, de paquetage et de groupage des marchandises entreprises dans ces zones.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire consiste à analyser les mouvements des conteneurs, autrement éclaircir le lien existant entre la rapidité des opérations physiques (manuten-

tion, transport. . . etc.) et le temps d'immobilisation des navires. Pour cela le processus de débarquement est le noyau de notre étude lié à une livraison extra-portuaire, une zone logistique qui est la ZEP (Plein).

Le travail réalisé dans le cadre de cet article consiste à analyser les mouvements des conteneurs en faisant éclaircir le lien existant entre la rapidité des opérations physiques (manutention, transport...etc) et le temps d'immobilisation des navires. Pour cela, le processus de débarquement est le noyau de notre étude lié à une livraison extra-portuaire, une zone logistique qui est la ZEP-Plein. Ainsi, un modèle mathématique s'appuyant sur la théorie des files d'attente a été élaboré pour décrire les différents processus intervenants dans le fonctionnement des différents moyens de manutention ont été décrits. Les résultats obtenus par l'approche simulation ont permis d'évaluer les performances des différentes stations étudiées, depuis le quai de débarquement jusqu'à la ZEP-Plein, en passant par le parc de terminal et la zone de transfert (tampon). La variation des performances a été dégagée en cas de variation des paramètres d'entrée.

10.2 Description du Modèle

Dans cette partie, nous allons aborder la partie modélisation et simulation. Pour cela, la construction d'un modèle mathématique qui reflétera au mieux le déroulement des différentes activités concernant le traitement des conteneurs plein, du quai de débarquement jusqu'au la SEP d'IOB (Zone Extra Portuaire Plein) est indispensable, après la collecte de toutes les données nécessaires. Les files d'attente semblent être la méthode la plus adaptée à cette situation. Ensuite, vu que l'étude analytique ne peut être effectuée sur ce modèle, nous allons utiliser l'approche simulation à événement discret, pour définir les différentes caractéristiques.

10.2.1 Collecte des données

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

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

10.2.2 Description du modèle

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

Station 1 :

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

Station 2 :

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

Station 3 :

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

Station 4 :

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

Station 5 :

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

Station 6 :

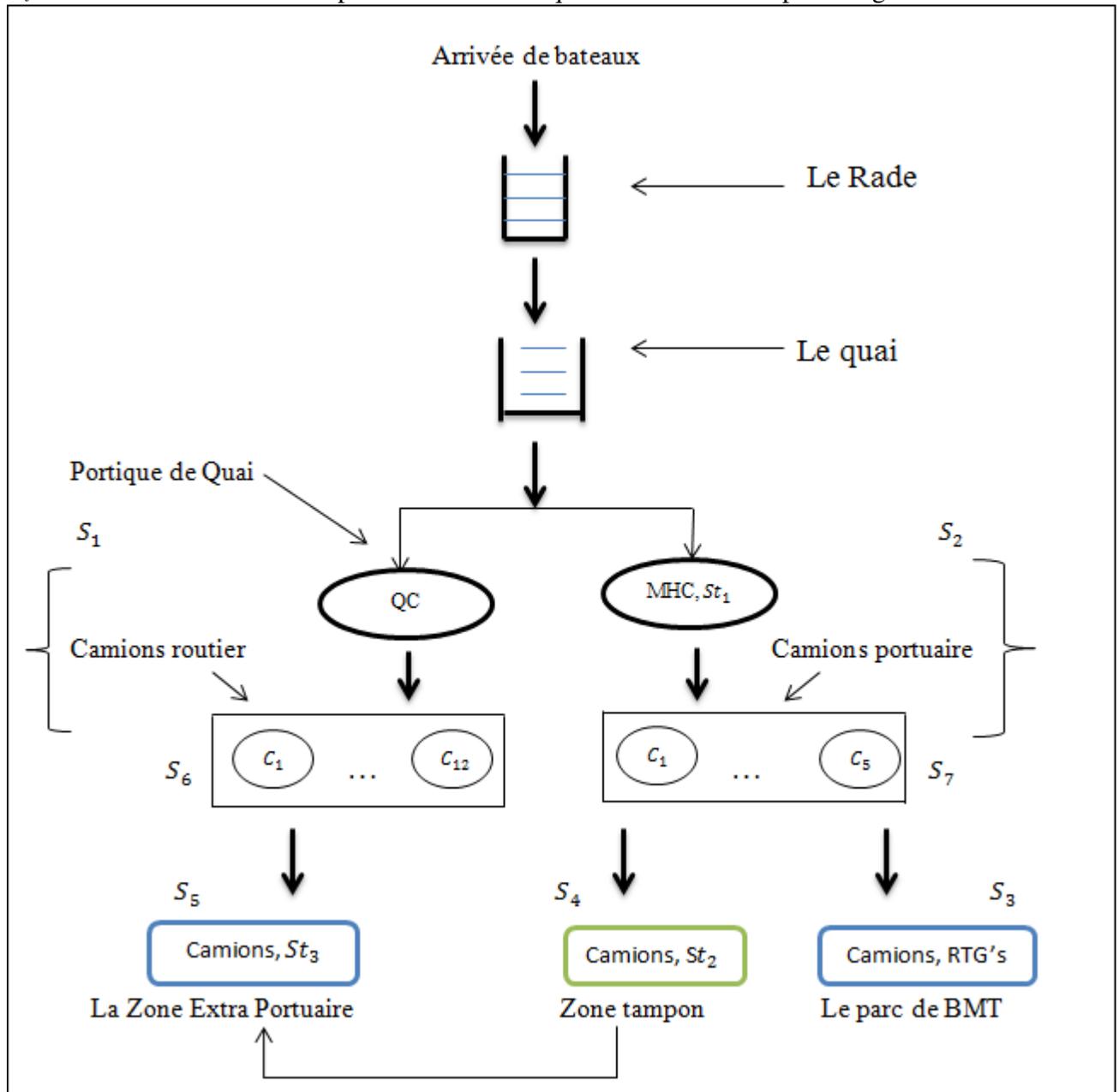
Cette station se compose de douze serveurs identiques disposés en parallèle de type $G/G/1/1$, les serveurs étant les camions remorqueurs routiers qui font des rotations entre le port et la ZEP-plein.

Station 7 :

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

10.2.3 Le processus de débarquement

Le modèle dégagé de ce processus peut être représenté par le schéma suivant : St_1 = Le steacker de la Grue ; St_2 = Le steacker de la zone tampon ; St_3 = Le steacker de la ZEP et S_i = La station numéro i . Le processus de débarquement est résumé par la figure suivante :



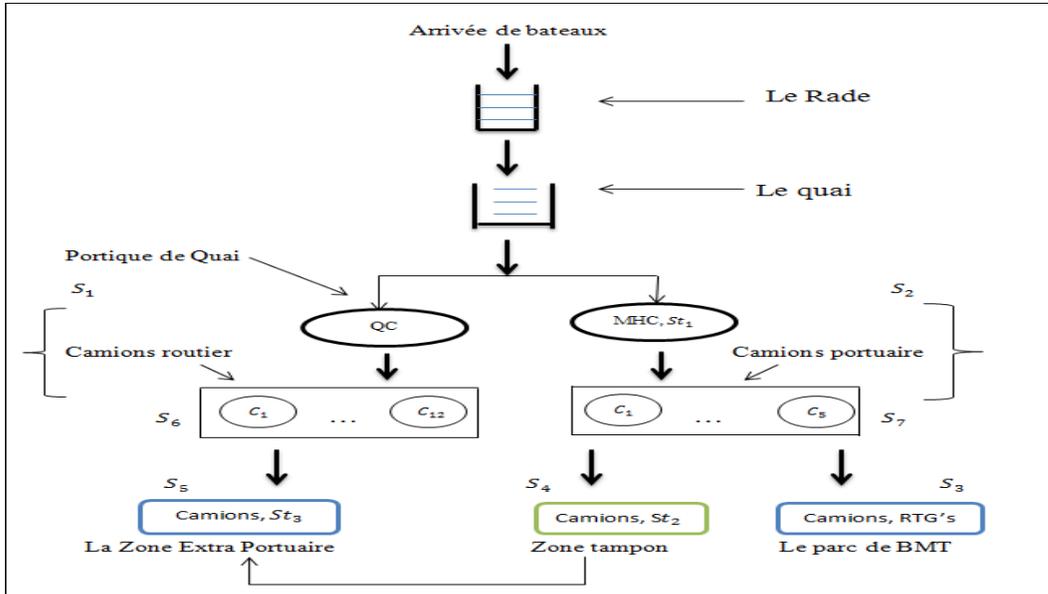


FIGURE 10.1. Le modèle du processus de débarquement

Identification des lois des processus intervenants

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

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un steacker pour charger un conteneur sur un camion. Les résultats obtenues peut être représentées dans la 10.2 :

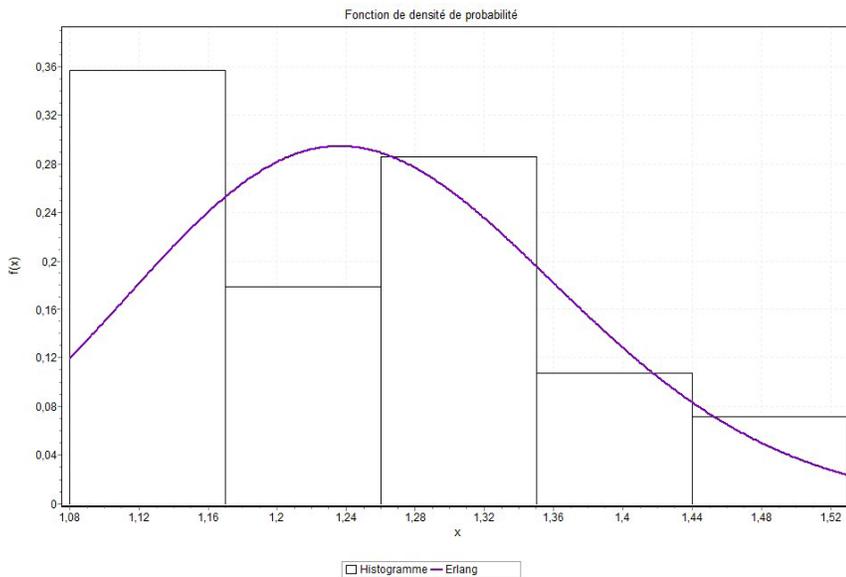


FIGURE 10.2. Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des stackers pour charger un conteneur

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

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

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un steacker pour décharger un conteneur sur un camion. Les résultats obtenues peut être représentées dans la 10.3.

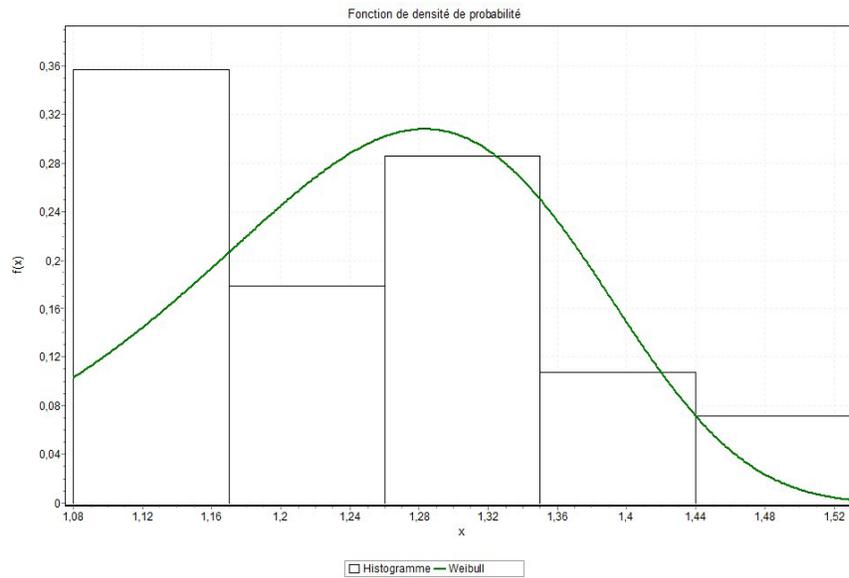


FIGURE 10.3. Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des steackers pour décharger un conteneur

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

5.4.3 Identification de la loi de service de la grue

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe la grue pour décharger un conteneur sur un navire. Les résultats obtenues peut être représentées dans la 10.4.

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

Identification de la loi de service du QC

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe le QC pour décharger un conteneur sur un navire. Les résultats obtenues peut être représentées dans la 10.5.

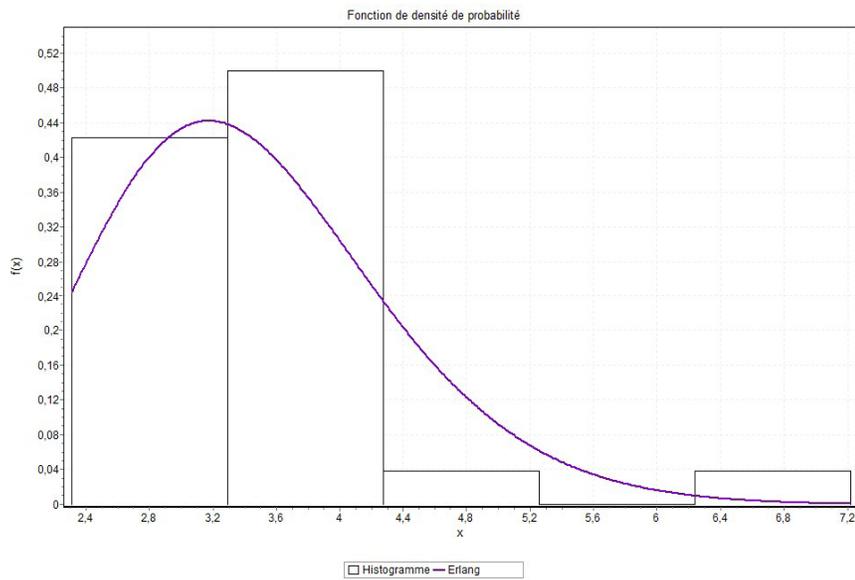


FIGURE 10.4. Histogramme et Courbe de densité de la loi du service de la grue au débarquement

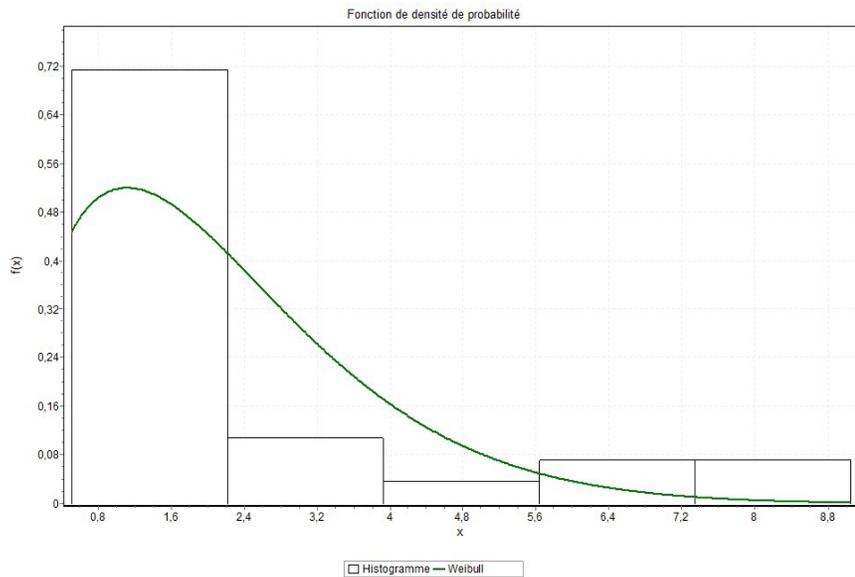


FIGURE 10.5. Histogramme et Courbe de densité de la loi des durées de service du QC au débarquement

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

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

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion pour transporter un conteneur vers le parc de stockage. Les résultats obtenues peut être représentées dans la 10.6.

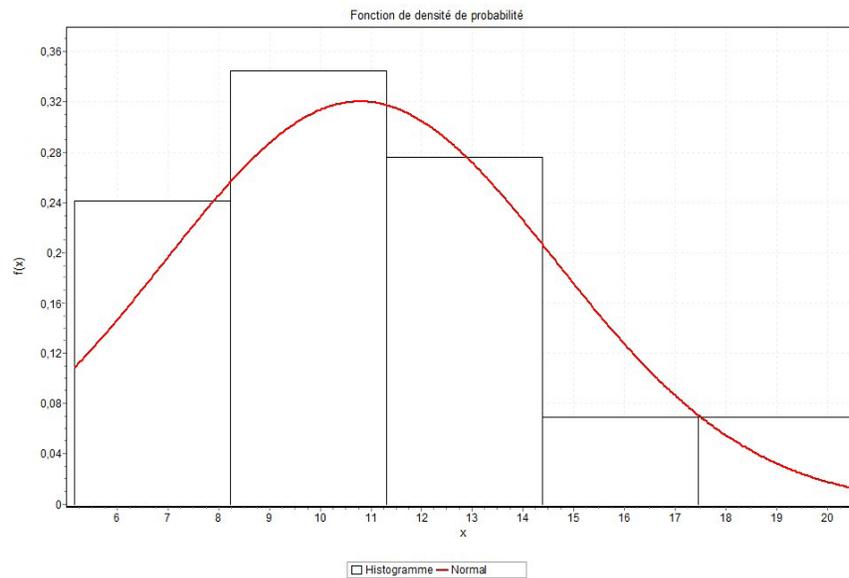


FIGURE 10.6. Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers le parc de stockage

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

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

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion portuaire pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon. Les résultats obtenues peuvent être représentés dans la 10.7.

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

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

Soit X la variable aléatoire représentant la durée en minutes que passe un camion routier pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein). Les résultats obtenues peuvent être représentés dans la 10.8.

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

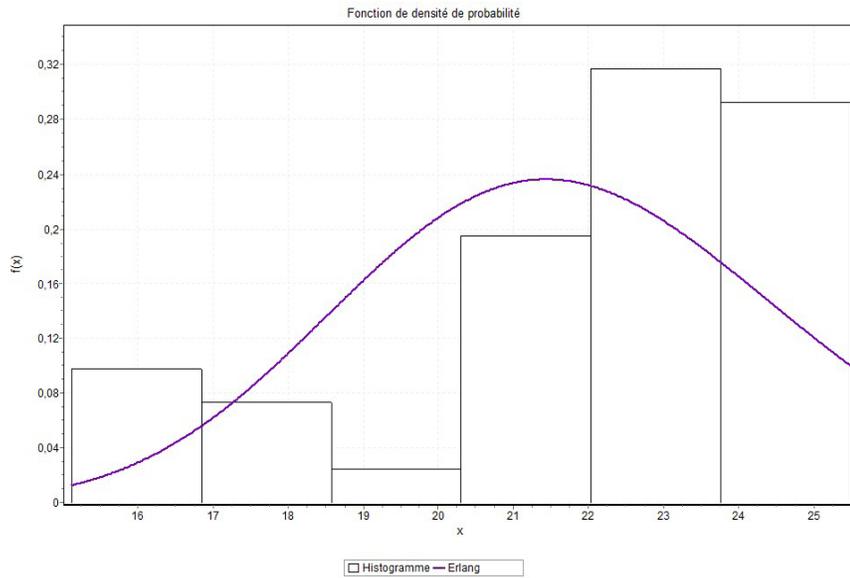


FIGURE 10.7. Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon

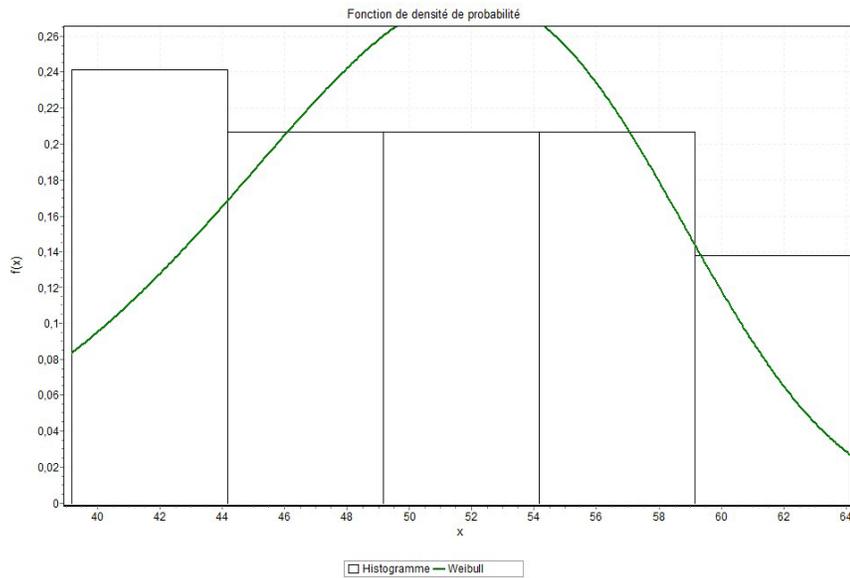


FIGURE 10.8. Histogramme et Courbe de la loi de service des camions routiers pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein)

Vue de la complexité du modèle retrouvé, l'évaluation des performances analytiquement s'avère difficile. Pour cela, on a opté pour l'approche simulation à événements discrets.

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

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

Durée moyenne d'une rotation :

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

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

- Durée moyenne de service de la grue : 47808 min
- Durée moyenne de service du QC : 2.46214 min
- Durée moyenne de service du steacker : 1.4516 min

Nombre des EVP transportés vers la ZEP/mois :

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

Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :

Durée moyenne des inter-arrivées des EVP est de 5.2326 min

Résultats numériques :

- Le nombre moyen d'EVP/Heure est de 27.
- Le nombre des navires traités par Mois est de 24.
- Le nombre moyen des EVP par navire est de 380.
- Le séjour moyen d'un navire dans le quai (débarquement) est de 26 heures.
- Le Taux d'utilisation des engins est pourcentage est résumé comme suit :

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

Interprétation des Résultats Numériques

Les résultats de la simulation montrent que la durée moyenne de service du Quay Crane (QC) est de 2.4621 minutes, la durée de service moyenne de la Grue Mobile (MHC) est de 3.4780 minutes, la durée moyenne de service du steacker est de 1.4516 minutes (chargement à quai et zone tampon) et la durée des inter-arrivées des EVP vers la ZEP est de 5.2326 minutes avec une durée moyenne de rotation des camions remorqueurs routiers de 53.4425 minutes inclu la durée de service du steacker au niveau de la ZEP plein (déchargement). Pour les camions remorqueurs portuaires, la durée moyenne d'une rotation vers le parc du terminal est de 11.6511 minutes ainsi que de 22.7281 vers la zone réserve (tampon). Concernant la répartition des conteneurs débarqués pour les différentes zones de stockage (mois), on a trouvé que, 2964 sont affectés est de vers la ZEP (plein), 6916 vers le parc de terminal et 1337 vers la zone tampon. Le temps moyen de séjour d'un navire au quai de débarquement est de 1.22182 jour avec un taux

de saturation égale à 98.89 pour cent. Ces résultats, à savoir le temps moyen de séjour d'un navire au quai et le taux de saturation du parc sont jugés importants par BMT. Pour améliorer ces deux performances, on a envisagé une étude prévisionnelle visant à étudier la variation des deux caractéristiques en fonction de la variation des paramètres des différents processus y intervenant.

10.2.5 Résultats de simulation en cas de variation des paramètres :

Augmentation du trafic

- Cas 1 : Augmentation de 10 pour cent du trafic vers la ZEP (Plein)

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivantes :

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivantes :

- La Durée moyenne d'une rotation entre le quai et la Zone Extra Portuaire est de 57.2113 min.
- Durée moyenne de service de la grue est de 3.47808 min.
- La Durée moyenne de service du QC est de 2.54132 min.
- La Durée moyenne de service du steacker (déchargement) est de 1,41945 min.
- Le Nombre d'EVP transportés à la ZEP/mois :
 - Le Nombre moyen d'EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) est de 3260.4.
 - Le Nombre moyen d'EVP transportés vers le parc de stockage est de 6224.4.
 - Le Nombre des EVP transportés vers la Zone Tampon est de 1337.

[●] Flot des Inter-arrivées des EVP à la ZEP :

- La Durée moyenne des inter-arrivées des EVP est de 5.2326 min.
- Temps moyen de séjour d'un navire au quai est de 20.65 heures.
- Le taux en pourcentage de saturation du parc BMT est de 98.52.
- Le Taux d'utilisation des engins en cas de l'augmentation de 10

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

Cas 2 : Augmentation de 30 pour cent du trafic vers la ZEP (Plein)

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

- La Durée moyenne d'une rotation entre le quai et la Zone Extra Portuaire est de 59.3113 min.
- La Durée moyenne de service de la grue est de 3.01422 min.
- La Durée moyenne de service du QC est de 1,41945 min.
- La Durée moyenne de service du steacker (déchargement) est de 1,41945 min.
- Le Nombre d'EVP transportés à la ZEP/mois :
 - Le Nombre moyen d'EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) est de 3853.2.
 - Le Nombre moyen d'EVP transportés vers le parc de stockage est de 4841.4.

- Le Nombre des EVP transportés vers la Zone Tampon est de 2074.3.
- Flot des Inter-arrivées des EVP à la ZEP :
- La Durée moyenne des inter-arrivées des EVP est de 5.0827 min.
- Temps moyen de séjour d'un navire au quai est de 17.66 heures.
- Le taux en pourcentage de saturation du parc BMT est de 97.79.
- Le Taux d'utilisation des engins en cas de l'augmentation de 30 pour cent est récapitulé par le tableau suivant :

Tâche	Engin	Taux
Livraison vers la ZEP	Camion routier Steacker (déchargement) (89.99)	(61.22) resp
Transfert vers le parc de stockage	Camion portuaire Steacker (chargement)	(59.33) resp (30.79)
Transfert vers la zone tampon	Camion portuaire Steacker (déchargement+chargement)	(72.76) resp (71.13)

Cas 3 : Augmentation de 50 pour cent du trafic vers la ZEP (Plein)

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

- La Durée moyenne d'une rotation entre le quai et la Zone Extra Portuaire est de 60.5117 min.
- La Durée moyenne de service de la grue est de 3.01136 min.
- La Durée moyenne de service du QC est de 3.42422 min.
- La Durée moyenne de service du steacker (déchargement) est de 1,41945 min.
- Le Nombre d'EVP transportés à la ZEP/mois :
- Le Nombre moyen d'EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) est de 4446.
- Le Nombre moyen d'EVP transportés vers le parc de stockage est de 3455.
- Le Nombre des EVP transportés vers la Zone Tampon est de 3458.
- Flot des Inter-arrivées des EVP à la ZEP :
- La Durée moyenne des inter-arrivées des EVP est de 4.85275 min.
- Temps moyen de séjour d'un navire au quai est de 17.24 heures.
- Le taux en pourcentage de saturation du parc BMT est de 97.05
- Le Taux d'utilisation des engins en cas de l'augmentation de 30 pour cent est récapitulé par le tableau suivant :

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

Variation des TCs de la Zone Extra Portuaire

Comme nous le montre la 10.9, la variation du taux de saturation du parc (ρ), dépend de plusieurs paramètres.

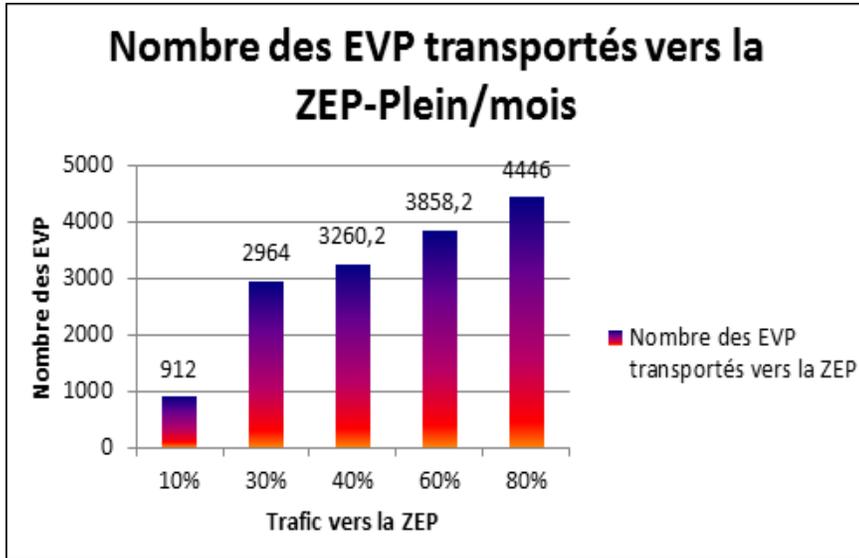


FIGURE 10.9. Variation des TCs de la Zone Extra Portuaire

Dans ce travail, on s’est intéressé seulement à la livraison vers les Zones Extras Portuaires. Dans ce cas, les résultats donnés par la figue ci-après, nous montre que le nombre des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaires-plein, influence considérablement sur la la capacite du parc de stockage et la fluidite. Pour ce là, on a résumé dans la 10.11, toutes les variations du taux de saturation ρ par navire, en fonction du pourcentage des EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire-plein.

La variation du taux de saturation du parc

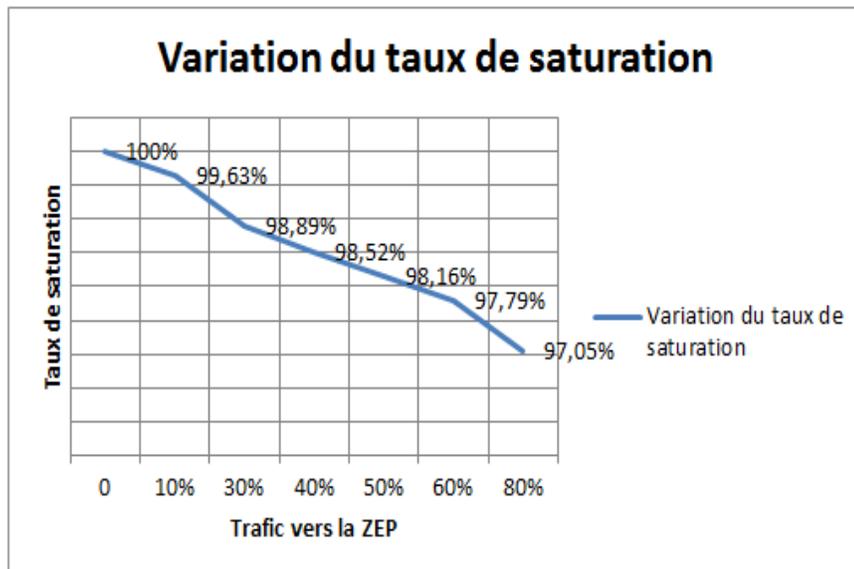


FIGURE 10.10. La variation du taux de saturation du parc

Interprétation :

Il est clair qu'une augmentation du trafic vers la ZEP avec des équipements actuels entraîne une diminution du taux de saturation et du temps moyen de séjour du navire au quai. Néanmoins, cette diminution pour le temps moyen de séjour n'est significative qu'à partir d'un taux de transfert vers la ZEP dépassant 50. Ceci est d'une part dû au service faible de la Grue composé avec celui du steacker. D'autre part, c'est dû au manque de camions. En effet, les 12 camions routiers dont dispose BMT commencent par transporter les conteneurs débarqués par le QC avant de s'occuper de ceux débarqués par la Grue. C'est pour cette raison qu'on a envisagé une deuxième étude portant sur la variation du taux de saturation et du temps moyen de séjour en faisant varier le nombre de camions routiers utilisés.

Variations du nombres des camions routiers

Cas 1 : avec 15 Camions routiers

Les résultats obtenus sont comme suit :

- La Durée moyenne d'une rotation entre le quai et la Zone Extra Portuaire est de 58.0259 min min.
- La Durée moyenne de service de la grue est de 3.21112 min .
- La Durée moyenne de service du QC est de 2.80412 min.
- La Durée moyenne de service du steacker (déchargement) est de 1,30845 min.
- Le Nombre d'EVP transportés à la ZEP/mois :
- Le Nombre moyen d'EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) est de 2964.
- Le Nombre moyen d'EVP transportés vers le parc de stockage est de 6916.
- Le Nombre des EVP transportés vers la Zone Tampon est de 1337.
- Flot des Inter-arrivées des EVP à la ZEP :
- La Durée moyenne des inter-arrivées des EVP est de 4.5747 min.

Cas 2 : avec 20 Camions routiers

Les résultats obtenus sont comme suit :

- La Durée moyenne d'une rotation entre le quai et la Zone Extra Portuaire est de 62.1008 min.
- La Durée moyenne de service de la grue est de 3.21112 min.
- La Durée moyenne de service du QC est de 2.59219 min.
- La Durée moyenne de service du steacker (déchargement) est de 1,53131 min.
- Le Nombre d'EVP transportés à la ZEP/mois :
- Le Nombre moyen d'EVP transportés vers la Zone Extra Portuaire (plein) est de 2964.
- Le Nombre moyen d'EVP transportés vers le parc de stockage est de 6916.
- Le Nombre des EVP transportés vers la Zone Tampon est de 1337.
- Flot des Inter-arrivées des EVP à la ZEP :
- La Durée moyenne des inter-arrivées des EVP est de 3.4136 min.

Ainsi, on peut résumer récapituler la diminution du Taux de saturation du parc ρ pour les différents pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein comme suit :

- Pour un pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein de 10, on a enregistré une diminution du Taux de saturation du parc ρ de 0.36893.
- Pour un pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein de 30, on a enregistré une diminution du Taux de saturation du parc ρ de 1.1068.
- Pour un pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein de 40, on a enregistré une diminution du Taux de saturation du parc ρ de 1.47573.
- Pour un pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein de 50, on a enregistré une diminution du Taux de saturation du parc ρ de 1.84466.
- Pour un pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein de 60, on a enregistré une diminution du Taux de saturation du parc ρ de -2.21359.
- Pour un pourcentages d'EVP transportés à la ZEP-plein de 80, on a enregistré une diminution du Taux de saturation du parc ρ de -2.95146.

Interprétation : Il est clair qu'une augmentation du trafic vers la ZEP avec des équipements actuels entraîne une diminution du taux de saturation et du temps moyen de séjour du navire du prêt du quai. Néanmoins, cette diminution pour le temps moyen de séjour n'est significative qu'à partir d'un taux de transfert vers la ZEP dépassant 50. Ceci est dû, d'une part, au service faible de la Grue composé avec celui du steacker, d'autre part au manque de camions routiers. En effet, les 12 camions routiers dont dispose BMT commencent par transporter les conteneurs débarqués par le QC avant de s'occuper de ceux débarqués par la Grue. C'est pour cette raison qu'on a envisagé une deuxième étude portant sur la variation du taux de saturation et le temps moyen de séjour en faisant varier le nombre de camions routiers. C'est ce que représente la 10.11 ci-après.

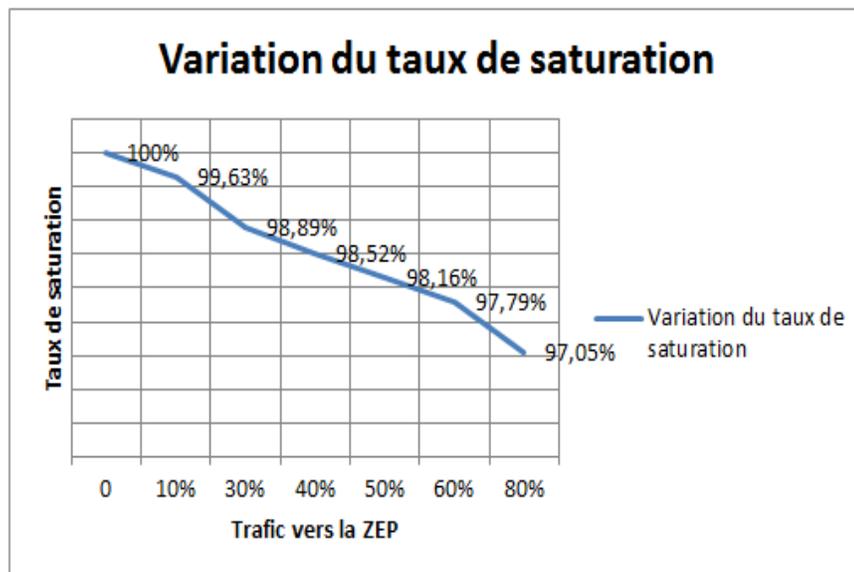


FIGURE 10.11. La variation du taux de saturation du parc

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

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

Les résultats obtenus sont résumés la 10.12 :

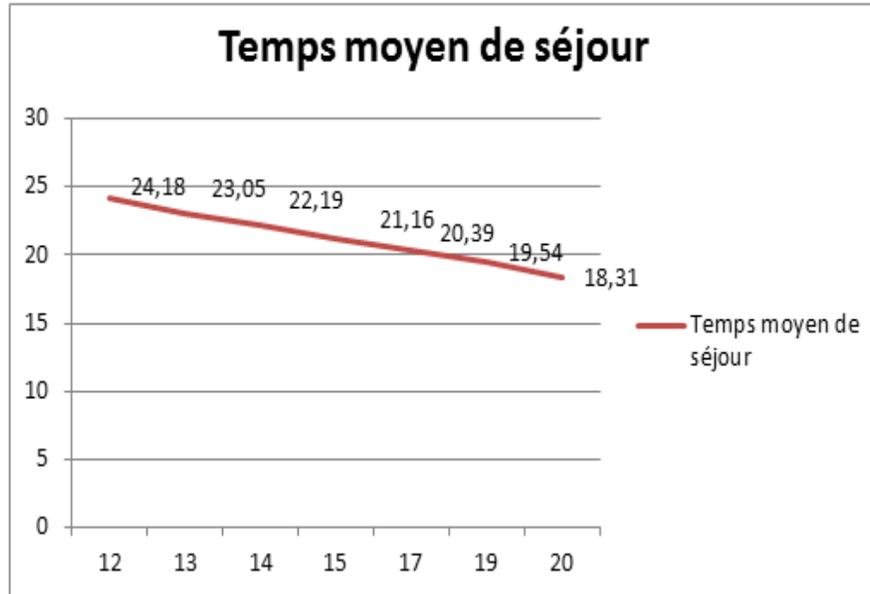


FIGURE 10.12. Temps moyen de séjour d'un navire en fonction du nombre des camions routiers

Interprétation : D'après la 10.12, on constate que le temps moyen de séjour d'un navire au quai décroît en fonction du nombre de camions routiers.

Variation de la durée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP en fonction du nombres de camions routiers Étant donné que le nombre d'EVP sortant du quai vers la ZEP fait diminuer sa saturation, chose qui est directement liée à la rapidité du service livraison de ces EVP vers ZEP, lui même lié au nombre de camions routiers l'effectuant, on a pensé à étudier la variation de la durée moyenne des inter-arrivées des EVP provenant du quai vers la ZEP en fonction du nombre de camions routiers. Les résultats obtenus sur les inter-arrivées des EVP à la ZEP sont résumés par la 10.13 suivante :

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

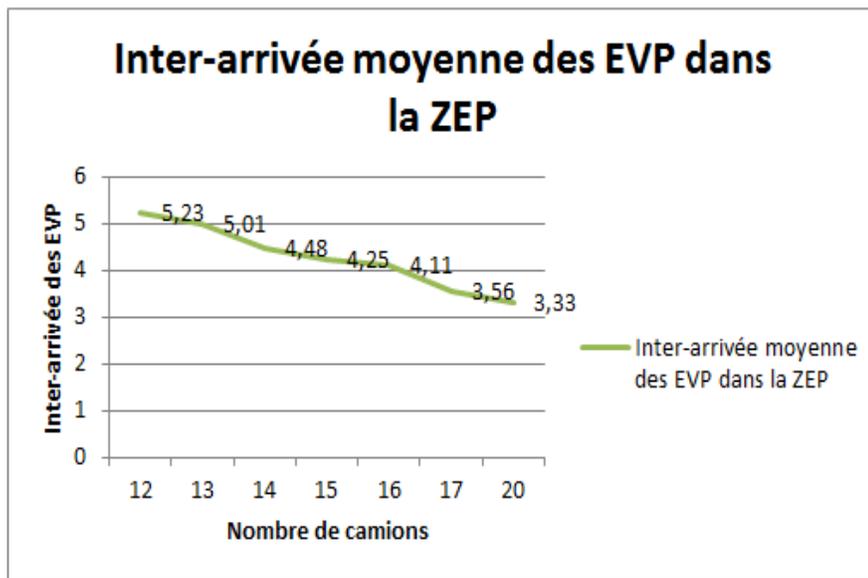


FIGURE 10.13. Durrée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP

10.3 Conclusion

L'intérêt économique de l'escale est aujourd'hui le critère le plus incontournable dans l'évaluation de la performance d'un port. La productivité d'un port et la qualité de ses services sont liées à la rapidité des opérations physiques et administratives, et donc à la diminution du temps d'immobilisation des navires et des marchandises sur les quais. Lors de l'escale du navire, la marchandise va subir des mouvements (le débarquement et l'embarquement). Notre étude s'est portée essentiellement sur l'entreprise BMT et plus précisément sur le processus de débarquement qui est un processus très important dans les opérations de manutention de quai aux zones de stockages. La fluidité de la congestion au niveau du terminal et le rôle des zones logistiques (ZEP-Plein d'IOB) paraissent primordiales dans le calcul des performances. Pour ce faire, on a fait appel à la théorie des files d'attente modélisant les différentes opérations intervenant dans le processus de débarquement des navires. Le modèle obtenu s'inscrit dans la catégorie des réseaux non markoviens et donc très compliqués. Ce qui fait défaut à l'approche analytique pour le calcul des caractéristiques désirées telles que le temps moyen de séjour d'un navire au quai et le taux de saturation du parc. Pour pallier à ce problème, nous avons procédé par simulation, en utilisant l'approche à événements discrets. Les résultats obtenus nous ont montré que la capacité moyenne de la ZEP-Plein peut générer un gain de temps et d'espace en cadence productif soutenue par une performance assez acceptable des différentes stations du système (une fluidité du processus de débarquement). Pour chaque une des variations des paramètres (pourcentage du trafic vers la ZEP et camions routiers), les résultats obtenus montrent une variation considérable dans les performances et des solutions sont données aux deux phénomènes étudiés, à savoir : la question de l'évaluation des performances du processus de débarquement soutenu par une Zone Logistique Extra Portuaire pour les conteneurs pleins en proposant trois types de modélisation. Finalement, on a procédé au calcul des mêmes performances en cas de variation de certains paramètres d'entrée du modèle.

Références

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