

Performance des terminaux portuaires Cas du port de Mostaganem

Mr. CHACHOUA Fadloun

Doctorant, Univ. de Mostaganem

Email : fad_chachoua@yahoo.fr

Mme. HENNI Amina

Maitre assistante "A", Univ. de Mostaganem

Résumé :

Les ports sont l'un des maillons clés de toute chaîne logistique qui nécessite un transport maritime dans une de ses étapes. L'efficacité de la chaîne logistique ne peut exister qu'avec un port maritime fiable, capable d'assurer des services logistiques de bonne qualité et de minimiser les coûts portuaires dont le temps d'attente des navires. L'objectif de cette étude est d'utiliser la théorie des files d'attente pour mesurer le temps moyen d'attente des navires en rade et en quai au niveau du port de Mostaganem.

Les résultats ont démontré que le temps moyen est de 19 jours, ce qui prouve que les services logistiques portuaires sont d'une qualité limitée. D'où, il est indispensable d'introduire une fonction logistique efficace dans la gestion portuaire.

Les mots clés: port, logistique portuaire, théorie des files d'attente, système M/M/1.

Jel Classification: C44, L92, F02.

ملخص:

يعتبر الميناء أهم عنصر في أي سلسلة لوجستية تستلزم نقل بحري في مرحلة من مراحلها. فلا يمكن تحقيق سلسلة لوجستية فعالة بدون ميناء بحري قادر على تقديم خدمات لوجستية في المستوى، إضافة إلى تدنية تكاليف التشغيل والتي من أهمها مدة انتظار السفن. تهدف هذه الدراسة إلى قياس متوسط مدة انتظار السفن خارج وعند الرصيف في ميناء مستغانم باستعمال نظرية الطوابير.

أكدت النتائج أن متوسط مدة الانتظار السنوية للسفن هي حوالي 19 يوم، وهذا ما يؤكد أن الخدمات اللوجستية التي يقدمها ميناء مستغانم جد محدودة. وبالتالي، نقترح تحسين القدرات اللوجستية للميناء من أجل تحقيق مستوى أداء أحسن.

الكلمات المفتاحية: ميناء، لوجستيك الميناء، نظرية الطوابير، نظام M/M/1.

تصنيف JEL: C44، L92، F02.

Introduction

Les ports jouent de plus en plus un rôle prépondérant dans le système de transport global. En effet, avec la mondialisation et le processus d'intégration économique internationale, les ports maritimes sont devenus l'une des préoccupations majeures des autorités portuaires et des responsables politiques dans le monde. Les ports sont le poumon du commerce international mais aussi la clef du développement économique des régions enclavées et côtières.

Aussi, le développement du commerce international et l'envahissement des produits chinois toute la planète ont causé une pression sans précédent sur les ports maritimes. Les navires doivent à présent rester au large un bout de temps, dans des files d'attentes avant d'être servis sur un quai. Ce qui peut représenter des coûts directs et indirects. Pour rester compétitifs, les ports ont donné plus d'importance à la fonction logistique. En effet, ces derniers se sont procurés des infrastructures développées afin d'assurer des activités logistiques portuaires à un niveau de service élevé. Ceci permet de servir le navire, de la meilleure façon qui existe, et de minimiser le temps d'attente des navires. Pour cela, la théorie des files d'attente peut être utilisée comme outil pour mesurer le temps d'attente des navires. En effet, le temps d'attente (au large ou en quai) réduit la qualité des services logistiques portuaires.

En effet, une mauvaise prestation des ports maritimes est fatale pour l'économie. Les coûts d'attentes des navires sont trop élevés et peuvent se mesurer par milliards. Aussi, l'ignorance de la fonction logistique dans les ports se traduit souvent par des coûts qui peuvent être évités. C'est

malheureusement le cas des ports algériens qui restent moins performants que leurs voisins Maghrébins. Le port de Mostaganem n'en fait pas l'exception malgré les efforts entretenus jusqu'à présent. Ces efforts visent à disposer le port d'une plate forme logistique efficiente. D'où, la question qui doit être posée est:

Quel effet peut avoir la logistique portuaire sur la performance des quais?

Pour répondre à la question ci-dessus, on élabore les hypothèses suivantes: La première suppose que les capacités logistiques sont des indicateurs d'efficience du port. En effet, on ne peut réduire le temps d'attente du navire (qui est considéré comme variable des coûts logistiques) au port sans avoir les moyens logistiques indispensables. La deuxième hypothèse présume que la théorie des files d'attente peut être un outil de mesure fiable de la performance du port. La troisième hypothèse indique que le port de Mostaganem n'a pas les moyens logistiques nécessaires pour réduire le temps d'attente des navires au quai.

Le principal objectif de cette étude est d'évaluer la performance du port de Mostaganem en utilisant le système M/M/1 (model Markovien à un seul serveur) comme un indicateur de performance. Une fois mesuré, cet indicateur permet de déterminer si les activités logistiques portuaires ont un bon niveau de prestation de service.

Ce travail se décompose en quatre sections. La première section est consacrée aux évolutions qu'ont connues les ports. La seconde présente la logistique portuaire. La théorie des files d'attente est brièvement expliquée à la troisième section. Finalement, la dernière section est un cas pratique où la performance du port de Mostaganem est évaluée à l'aide du model Markovien à un seul serveur.

I. Evolution et développement des ports maritimes

Le développement des ports et l'évolution des activités portuaires se fait en général sur quatre étapes distinctes. Il faut remarquer aussi que

certains ports se sont arrêtés sur une étape précoce de cette évolution quand d'autres se sont développés sans passer par toutes les étapes.¹

- **Les ports de la première génération:** Avant les années 60, les ports de cette génération recevaient principalement des bateaux à vapeur. Ils se sont développés dans un environnement de colonisation, de montée en puissance des nations et d'une croissance rapide du commerce. Les fonctions portuaires se limitaient au transbordement, à l'entreposage et au commerce. Cette génération était la plus territorialisée, étroitement dépendante des besoins locaux et régionaux qu'elle cherchait à concentrer autour d'elle². Cependant, les services portuaires étaient élémentaires et à faible valeur ajoutée. A cette époque, les ports ne représentaient qu'un point de transbordement dans la chaîne de transport.

- **Les ports de la deuxième génération:** Les ports de la deuxième génération se sont développés après les années soixante lorsque des événements (comme la pétrochimie, la prospérité structurelle et l'industrialisation) se sont étendus. En plus du transbordement, l'entreposage et le commerce, les fonctions portuaires touchaient même l'industrie. Les services portuaires sont devenus combinés et leurs valeurs ajoutées se sont améliorées. Quand à la zone portuaire, elle s'est développée pour avoir une meilleure extension et des infrastructures plus modernes. Les ports sont devenus des nœuds de transport et des centres industriels et/ou commerciaux.³

- **Les ports de la troisième génération:** le port de la troisième génération devient un centre de transport intégré et une plateforme logistique pour le commerce international⁴. En effet, à partir des années 1980 et jusqu'aux années 2000, les ports ont vu le jour dans un monde où l'internationalisation et les entreprises multinationales ont envahi le

¹ OCDE(2000), "La desserte terrestre des ports maritimes", Table ronde n°113,2000, p11.

² Jacques Guillaume (2008), "Les transports maritimes dans la mondialisation", édition l'Harmattan, France, p17.

³ OCDE (2000), op-cit, pp:09-11

⁴ Bureau International du Travail (2002), "Travail dans les ports: répercussions sociales des nouvelles méthodes de manutention", Conférence internationale du travail, 90^{ème} session, Genève, p28

monde. En plus des fonctions traditionnelles des ports, ces derniers ont occupé même la fonction de la distribution. Aussi, la conteneurisation au sein de ces ports et la disponibilité des infrastructures ont largement augmenté la valeur ajoutée des ports. Durant cette période, les ports ont connu une orientation commerciale et sont devenus des centres logistiques. Le transport est devenu intégré au sein des ports.⁵

-Les ports de la quatrième génération: Ce sont les ports-réseaux qui décrivent un ensemble de plates-formes reliées et intégrées⁶. A partir des années 2000, les ports sont devenus des centres et des réseaux intégrés de transport, de logistique et d'information. En effet, c'est avec la globalisation, qui en ouvrant les portes à un vaste commerce international, et l'informatisation, qui a facilité le flux physique et d'information, que la logistique portuaire a pris toute son envergure dans la supply chain.

Comme il est cité auparavant, les ports de la troisième et la quatrième génération se sont de plus en plus intéressés à l'amélioration de la performance des ports à travers l'accomplissement des services logistiques. Les ports sont devenus de vrais centres logistiques, englobant des plateformes logistiques développées.

II. La logistique portuaire

La logistique portuaire est un ensemble des moyens stratégiques et opérationnels permettant d'optimiser les fonctions intermodales dans la chaîne portuaire. C'est aussi une démarche permettant de rendre plus rapide et plus efficiente les différentes opérations d'un port⁷. En d'autres termes, elle se traduit par l'installation de la logistique dans les zones portuaires comme un atout et un *plus* indéniable afin d'assurer l'optimisation du flux physique au sein de ces sites à moindre coût et avec la qualité de service recommandée.

⁵ OCDE (2000), op-cit, p 11

⁶ Bureau International du Travail (2002), op-cit, p29

⁷ <http://www.leressac.com/dossiers/presentations/article/la-logistique-portuaire> consulté le 20/08/2015 à 21h28

On ne peut donc pas parler de la performance des ports et de leur capacité à gérer les files d'attente des bateaux sur le quai sans évoquer la logistique portuaire. Dans les secteurs maritime et portuaire, la concurrence a ces dernières années cessé d'être une concurrence entre sociétés d'armements et ports pour se muer en une concurrence entre chaînes logistiques maritimes reliant les lieux d'origine et de destination entre eux. Les ports de mer modernes sont des maillons cruciaux des chaînes logistiques internationales et des réseaux qui y sont associés. Le bon fonctionnement des chaînes logistiques est fonction de la compétitivité des ports de mer qui en font partie, tandis que celui des ports de mer est fonction de la compétitivité des chaînes logistiques qui les englobent. Le même raisonnement s'applique à tous les autres acteurs maritimes, depuis les armateurs jusqu'aux entreprises de transport de l'arrière-pays en passant par les entreprises portuaires.⁸

En effet, le transport international d'une marchandise par la voie maritime nécessite l'intervention de nombreux acteurs spécialisés dans une tâche précise et qui vont s'employer à rendre un service pour le compte du chargeur. Dans cette logique modale, l'organisation du transport d'une marchandise par la voie maritime se caractérise par une très grande complexité liée au nombre d'intermédiaires mobilisés. Une négociation réussie entre ces intermédiaires aboutit à un contrat de transport qui permet la réalisation effective du Transport. Celle-ci mobilise dans le port des acteurs qui surveillent le bon respect du contrat, notamment lors des opérations de *chargement* et de *déchargement* du navire, moment précis où la marchandise change de main, pour passer de la responsabilité du commissionnaire de transport à celle de l'armateur ou inversement, avec du côté du chargeur et de la marchandise le transitaire portuaire, désigné par le commissionnaire de transport, et du côté de l'armateur, l'agent consignataire, désigné par l'agent maritime. En outre, viennent s'ajouter

⁸ Van de Voorde E. & Vanelddlander T. (2010), "Puissance de marché et intégration horizontale et verticales des activités maritimes et portuaires", dans OCDE/FIT, Intégration et concurrence entre le transport et les activités logistiques, Editions OCDE, Belgique, 2010, p73.

pour l'armateur les très nombreux services au navire, indispensables à la bonne réussite de l'escale. Ils reposent sur des métiers qui ont chacun des histoires et des organisations différentes, lesquelles varient fortement d'un port à l'autre.⁹

Pour Martin et Thomas (2001), la communauté portuaire engagée dans le traitement des marchandises diverses est un système fractionné entre les différents acteurs. Ce système s'explique par une division ferme des différentes fonctions, afin de limiter au maximum la responsabilité de chacun sur la marchandise en cas de dommage. Malgré cela, des zones d'ombre persistent sur les notions de responsabilité, particulièrement lors du passage de la marchandise du navire au quai ou inversement, avec des usages et rituels différents selon les ports.¹⁰

III. Théorie des files d'attentes

Lorsqu'une capacité limitée confronte une demande quelconque dans un système, ce dernier peut être conçu comme un système d'attente, en particulier si l'instant de manifestation de cette demande ou son volume est imprévisible. Il suffit que la demande ou la capacité soit irrégulière pour qu'un *conflict* se constitue sur cette capacité et la queue apparaît.

L'accent est mis sur l'aspect qualité du problème, notre objectif est de pouvoir mesurer la qualité du service, il s'agit donc de modélisation et non d'optimisation. Cela n'empêche pas de relever quelques remarques sur une meilleure organisation possible du système d'attente.

III.1. Définition

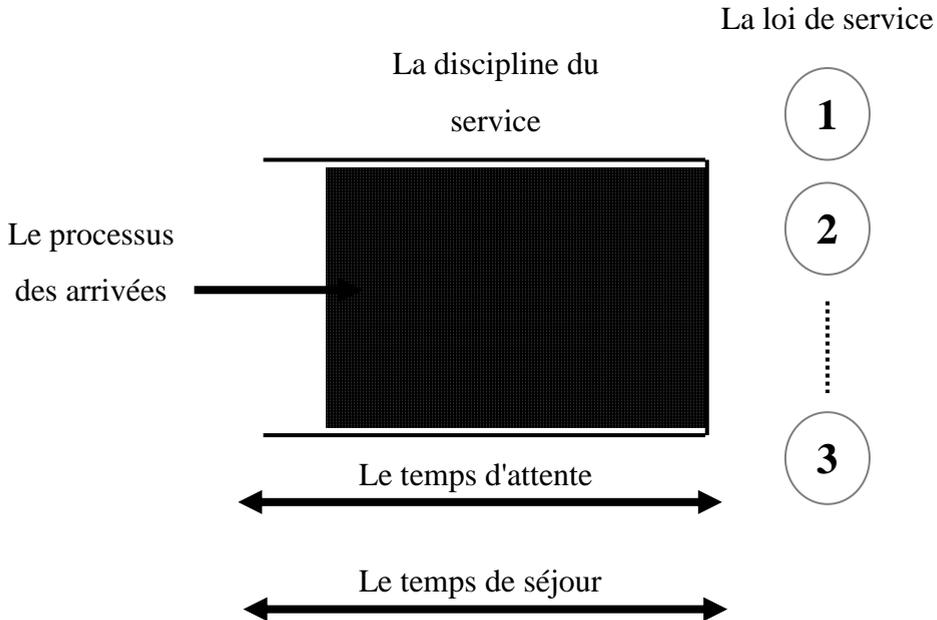
Un phénomène d'attente est constitué d'une source de demande appelée société et d'un système d'attente composé d'un ensemble de clients et d'un ensemble de guichets (stations ou serveurs). Le système d'attente est

⁹ FRÉMONT A. (2009), "Intégration, non-intégration des transports maritimes, des activités portuaires et logistiques :Quelques évidences empiriques", Document de référence 2009-1 — OCDE/FIT,2010, p7.

¹⁰ Martin J. and Thomas B. J. (2001), "The container port community", *Maritime Policy and Management*, 28(3), pp. 279-292.

composé d'un lieu d'attente appelé *centre d'attente* et un lieu de service appelé *centre de service*.¹¹

Figure 1: Présentation d'une file d'attente



Source: Auteurs, basée sur des lectures de Bonald T. & Feuillet M. (2011), "Performances des réseaux et des systèmes informatiques", édition Lavoisier, France.

L'étude d'un phénomène d'attente porte généralement sur les aspects rendement et qualité du service fournit par le système d'attente. Pour être analysé, le système d'attente est considéré comme un processus de naissance et de mort au niveau d'une société de clients (encours de service ou en attente). La naissance se produit lorsqu'un client arrive au lieu du service, la mort se produit lorsqu'un client quitte le lieu de service¹².

¹¹Alain Ruegg (1989), "Processus Stochastiques", Presses polytechniques romandes, Lausanne, Suisse, p 65

¹²KLEINROCK L.(1976), "Queueing system" Vol 1: Theory, John Wiley & Sons, editions, New York,1976, p20.

Plus précisément, la description de ce système doit impérativement spécifier:¹³

- Le mécanisme d'arrivée des clients (c'est-à-dire, la loi à laquelle le processus d'arrivée obéit).
- Le temps de service (distribution de la durée du service).
- La discipline de service (quel client servir en premier?): la discipline de priorités des modèles de files d'attente est ceux où la discipline de systèmes file d'attente est basée sur une priorité. Ainsi l'ordre est dans lequel les membres de la file d'attente sont choisis sur la base de leurs priorités assignées pour le service. Par exemple, des navires importants doivent être servis en priorité.

III.2. Notation de Kendall des files d'attente: A/B/S/L/D/

Cinq caractéristiques sont retenues pour décrire le fonctionnement d'un système d'attente, elles sont représentées par un groupe dit la *notation de Kendall* où :¹⁴

A est le code de la loi des arrivées;

B représente le code de la loi des services;

S est le nombre de guichets;

L désigne la capacité du système, en d'autres termes, il s'agit du nombre maximum de clients qui peuvent se présenter simultanément dans le système. La capacité d'un système peut être limitée ou illimitée. Lorsqu'elle est limitée, un client qui arrive lorsque le système est déjà saturé, le quitte immédiatement et le client est dit *perdu*;

D indique la discipline d'attente, c'est-à-dire la règle suivant laquelle le prochain client à servir est sélectionné, par souci d'équité, la discipline la plus courante est Premier Arrivé Premier Servi (PAPS), c'est le cas dans les bureaux de poste, une telle file est dite *file ordonnée*. D'autres disciplines moins courantes existent: Dernier Arrivé Premier Servi (DAPS) lorsque l'attente se constitue en *pile*, le temps de service le plus

¹³ Mehri H. & Djemel T., "Etude de l'Attente Prioritaire Dans Les Ports", hal- 00258630, version 2, mars 2009.

¹⁴ www.rogp.hec.ulg.ac.be/Crama/Teaching/RO1lic/Docs/Chap2_Files.pdf consulté le 23/06/2015 à 17h43

court d'abord, selon le degré d'urgence, etc. La priorité peut être absolue (le service est interrompu pour servir la demande prioritaire lorsqu'elle apparaît) ou relative (la demande prioritaire est placée première queue).

En général, on décrit l'arrivée des clients par le temps entre deux arrivées successives, ce dernier peut être une constante, ou une variable aléatoire avec une distribution de probabilité connue. Celle-ci est notée M pour markovienne (ou encore E pour exponentielle), Er pour la distribution d'Erlang à paramètre $r = 1, 2, 3 \dots$; ou G pour une distribution quelconque.

Le temps de service peut être une constante ou une variable aléatoire à distribution connue. Dans certains cas, le temps de service est dépendant du nombre de clients existant déjà dans le système. Aussi, il est essentiel de définir si le client a besoin du service d'un seul quai comme c'est généralement supposé, ou bien s'il passe par plusieurs quais en série (dans ce cas, le système est appelé à *cascade*).

III.3. Présentation générale

En général, seules les trois premières grandeurs caractéristiques sont utilisées. Dans ce cas la capacité du système est supposée illimitée, la file d'attente est ordonnée et les clients arrivent individuellement. Dans le cas d'une File M/M/1, la fréquence d'arrivée et la capacité de service sont indépendantes de l'état.¹⁵

$$\lambda_k = \lambda, k = 0, 1, \dots$$

$$\mu_k = \mu, k = 1, 2, \dots$$

D'où, par application des résultats des processus de naissance et de mort, nous avons:

$$p_k = p_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \dots \dots \dots (1)$$

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k} \dots \dots \dots (2)$$

¹⁵ Robert P. (2000), "Réseaux et file d'attente: méthodes probabilistes", Springer, Allemagne, pp.104 -106.

La condition de stabilité (condition de convergence du dénominateur de la formule de p_0) est donc que $\rho = \lambda / \mu < 1$. Cette variable représente le taux d'utilisation du serveur. Dans ce cas l'expression des probabilités d'état est:

$$p_k = (1 - \rho)\rho^k, \text{ pour } k = 0, 1, \dots \dots \dots (3)$$

À partir de ces probabilités nous pouvons calculer des variables opérationnelles telles que le nombre moyen de clients dans la file (longueur moyenne de la file) ou le temps de réponse à partir du temps de service s :

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} k p_k = \sum_{k=1}^{\infty} k (1 - \rho)\rho^k = \frac{\rho}{1 - \rho} \dots \dots \dots (4)$$

$$R = \frac{Q}{\lambda} = \frac{\rho / \lambda}{1 - \rho} = \frac{1 / \mu}{1 - \rho} = \frac{s}{1 - \rho} \dots \dots \dots (5)$$

IV. Evaluation des performances du port de Mostaganem

Cette étude propose d'analyser les indicateurs de la fiabilité du port de Mostaganem. Elle couvre un échantillon de navires servis sur le quai n° 4 (appelé le quai de l'indépendance) du port de Mostaganem, sur une période déterminée de douze mois (de janvier 2013 à décembre 2013). Les données utilisées sont des statistiques obtenues au niveau de l'entreprise qui concernent la date et le temps des arrivées et des sorties des navires de céréales.

IV.1. Généralités sur le port de Mostaganem et ses capacités logistiques¹⁶

Le port se distingue d'une position avantageuse, il est situé dans la partie Est du golfe d'Arzew à latitude 35° 56' Nord et longitude 00° 05' Est. Sa position le relie aux marchés internationaux: agricoles (céréales, pomme de terre de semence, bois, ...) et commerciaux (transit de matériel et équipements de prospection et de forage de pétrole et gaz).

Il existe plusieurs activités logistiques et portuaires au niveau du port de Mostaganem. Cependant ces activités restent limitées en matière de qualité de service vu les capacités peu modernes du port. Parmi ces

¹⁶ Les chiffres et informations cités sont obtenus de l'Entreprise Portuaire de Mostaganem

activités, on peut citer: assistance aux navires, pilotage, remorquage, lamanage, opération de manutention...etc.

Néanmoins, le Port de Mostaganem offre de grands atouts, de par sa position géostratégique, ses dessertes à un vaste hinterland composé de douze (12) wilayas représentant le quart du nombre total des wilayas et le tiers de la superficie du pays. Cette structure offre de grands avantages à ses usagers par la mise à disposition d'infrastructures, de superstructures et d'équipements de manutention de façon à pouvoir donner la meilleure qualité de service aux moindres coûts.

Le Port de Mostaganem continue à attirer une majorité de clients et à drainer d'autres trafics forts intéressants notamment sur les opérateurs économiques les plus « exigeants et agressifs » commercialement et, plus particulièrement, les armateurs de lignes régulières qui ont opté pour le choix de ce port. Ce choix s'explique par les performances reconnues pour d'excellents services rendus en matière de productivité, rendement, cadence de déchargement, délai réduit de séjour en rade et à quai et de bonne préservation des marchandises par les utilisateurs du port.

Malgré le vaste programme d'investissement entrepris par l'Entreprise pour la réalisation d'opérations d'aménagement, de rénovation, de renouvellement et d'acquisition de nouveaux équipements de manutention dans le but d'améliorer les conditions générales d'exploitation et de fluidité du trafic, le Port de Mostaganem ne peut surmonter toutes les contraintes, notamment celles d'ordre physique liées directement à l'infrastructure logistique et portuaire comme la faiblesse des tirants d'eau variant de 6,77 à 8,22 mètres (quai le plus profond), insuffisance de terre-pleins servant de surfaces d'entreposage des marchandises, manque en capacités de transit et d'entreposage des marchandises comparativement aux normes portuaires admises...etc.¹⁷

¹⁷ Entreprise Portuaire de Mostaganem (2015), "Réalités & perspectives", revue El-Bahri, EPM octobre 2015.

IV.2. Application de la théorie des files d'attente

Pour cette étude, l'application du système à un seul serveur est faite à l'entreprise portuaire de Mostaganem et plus précisément sur les files des navires des céréales du quai spécialisé n°4. Conformément aux données disponibles sur l'annexe n°1, les temps de services sont classés dans un ordre croissant tel qu'il est démontré à l'annexe n°2. Ensuite, on doit :

1. Déterminer la valeur maximale t_{\max} et la valeur minimale t_{\min}
 $t_{\max} = 176H$
 $t_{\min} = 8h\ 15min$
2. Déterminer le nombre des intervalles selon la relation suivante :¹⁸

$$r = 1,15 \left[0,42 (n - 1)^2 \right]^{0,27} \dots\dots\dots(6)$$

Où "n" est le nombre d'observations

Le résultat obtenu est rapproché au premier nombre naturel. Sachant que cette équation se rapproche de la racine de n .

Donc, dans ce cas, l'approximation de la valeur résultante au plus proche

nombre naturel est de: $r = 1,15 \left[0,42 (32 - 1)^2 \right]^{0,27}$ D'où: $r \approx 6$

3. Calculer les limites des intervalles selon la relation suivante :

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{r} \dots\dots\dots(7)$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{176 H - 8 H 15 min}{6} \Rightarrow \Delta t \cong 30$$

4. Etablir un tableau qui précise les limites des intervalles, le centre des intervalles, le nombre de fréquence absolue m_j et les fréquences relatives m_j/n . tel qui est expliqué au tableau ci-dessous. Puis effectuer le test de χ^2 qui permet de confirmer l'hypothèse que les données étudiées suivent la loi exponentielle.

¹⁸ Lejeune M.(2010), "Statistique: la théorie et ses applications ", Edition Springer, deuxième édition, France, p184.

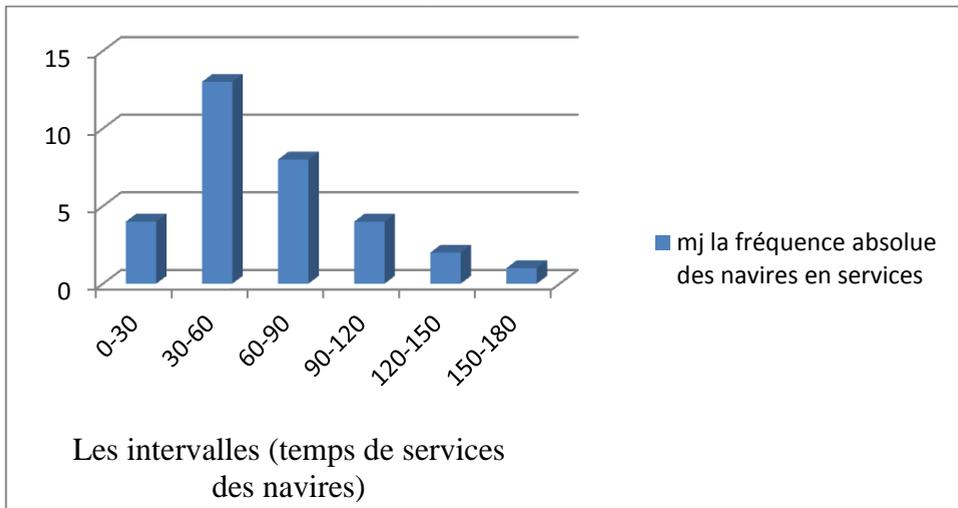
Tableau n° 1: Traitement statistique des temps de service selon la loi exponentielle

L'intervalle j	Les limites de l'intervalle t_j, t_{j+1}	Centre de l'intervalle t_j	Fréquence absolue m_j	Fréquence relative m_j/n
1	0-30	15	4	0,125
2	30-60	45	13	0,4065
3	60-90	75	8	0,25
4	90-120	105	4	0,125
5	120-150	135	2	0,0625
6	150-180	165	1	0,03125
			32	$\cong 1$

Source: Auteurs, en utilisant le programme Excel

Le tableau n°1 permet d'établir l'histogramme suivant :

Figure2: Traitement statistique des temps de service selon la loi exponentielle



Source: Auteurs, en utilisant résultats du tableau n°

D'après cet histogramme, les services présentés aux navires de taille moyenne [le temps de service (30-60) heures] sont très performants par rapport aux autres navires car le type de cargaison (sachet) et la taille de ces navires permet une utilisation optimale des ressources humaines et

matérielles. Par contre, les navires de grande taille dont leur temps de service est entre 90 et 120 heures sont moins performants. Cela assure que la performance du service présenté au quai est limitée selon le type de cargaison et la taille des navires. Le tableau n°2 présente le traitement des données correspondant aux services offerts par le port. Sachant que la fonction de répartition $F(t)$ et la fonction de densité $f(t)$ sont calculées selon les relations:

$$F(t) = \frac{\sum_{j=1}^n m_j}{n} \dots\dots\dots(8)$$

$$f(t) = \frac{m_j}{n \Delta t} \dots\dots\dots(9)$$

Tableau n°2: Calcul du taux moyen des services des navires

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	\bar{t}_j	m_j	$\bar{t} m_j$	$\bar{\lambda} \bar{t}_j$	$e^{-\bar{\lambda} \bar{t}_j}$	$f(t)$	$\hat{f}(t)$	$F(t)$	$\hat{F}(t)$
1	15	4	60	0,23	0,79	0,004	0,012	0,125	0,21
2	45	13	585	0,68	0,5	0,013	0,007	0,40	0,5
3	75	8	600	1,14	0,32	0,008	0,004	0,025	0,68
4	105	4	420	1,59	0,2	0,004	0,003	0,125	0,68
5	135	2	270	2,05	0,12	0,002	0,002	0,0625	0,88
6	165	1	165	2,51	0,08	0,001	0,001	0,03125	0,92
		$\Sigma = 32$	$\Sigma = 2100$					$\Sigma = 1$	

Source: Auteurs, en utilisant le programme Excel

Pour calculer le déterminant espéré $\bar{\mu}$, il faut calculer en premier le temps d'attente espéré \bar{t} selon la relation suivante :

$$\bar{t} = \frac{\sum t_j \cdot m_j}{n} \dots\dots\dots(10)$$

$$\Rightarrow \bar{t} = \frac{2100}{32} \Rightarrow \bar{t} = 65 \text{ H } 37 \text{ min}$$

donc, $\bar{\mu}$ est calculé de la façon suivante :

$$\bar{\mu} = \frac{1}{t} \dots\dots\dots(11)$$

$$\bar{\mu} = \frac{1}{65,625} = 0,01523 \text{ navire / heure .}$$

Le calcul des valeurs estimées de la fonction de répartition $\hat{F}(t)$ et de la densité estimée $\hat{f}(t)$ se fait comme suit:

$$\hat{F}(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(12)$$

$$\hat{f}(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (13)$$

Pour déterminer les caractéristiques théoriques de la loi exponentielle, il faut calculer P_j qui est la probabilité que les données expérimentales sont réalisées dans l'intervalle j , comme suit:

$$P_j = f(t)\Delta t \dots\dots\dots(14)$$

Tableau n° 3: Détermination des caractéristiques théoriques de la loi exponentielle

1	2	3	4	5	6	7	8
j	\bar{t}_j	m_j	$\hat{f}(t)$	P_j	nP_j	$m_j - np_j$	$(m_j - np_j)^2$
1	15	4	0,0012	0,12	3,84	0,16	0,0256
2	45	13	0,007	0,39	12,48	0,52	0,2704
3	75	8	0,004	0,24	7,68	0,32	0,1024
4	105	4	0,003	0,12	3,84	0,16	0,0256
5	135	2	0,002	0,06	1,92	0,08	0,0064
6	165	1	0,001	0,03	0,96	0,4	0,0016
		$\Sigma=32$			$\Sigma=30,72$		$\Sigma=0,423$

Source: Auteurs, en utilisant le programme Excel

Le tableau ci dessus permet d'effectuer le test de χ^2 , on peut donc calculer la valeur de χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{\sum (m_j - np_j)^2}{\sum np_j} \dots\dots\dots(15)$$
$$= \frac{0,432}{30,72} = 0,074$$

En comparant la valeur de χ^2 calculé à sa valeur tabulée sous une signification de 0,05 et un degré de liberté égal à (n-1) soit 31, on trouve

$$(\chi^2 = 0,074) < (\chi^{2*} = 45,1) \text{ où } \chi^{2*} \text{ est la valeur tabulée de } \chi^2$$

Donc, on accepte l'hypothèse que les données étudiées suivent la loi exponentielle.

Aussi, il faut traiter les données qui correspondent aux temps des arrivées qui sont supposés suivre la loi de poisson. Ainsi, et conformément à l'annexe n°1, on classe les temps des arrivées selon un ordre croissant. Puis, on peut suivre les même étapes avec les quelles on a calculé $\bar{\mu}$ pour calculer $\bar{\lambda}$ qui est la moyenne d'arrivée des navires, et pour cela on doit suivre la procédure suivante :

1. Détermination de la valeur maximale t_{\max} et la valeur minimale t_{\min} de l'échantillon:

$$t_{\max} = 354 \text{ heures}$$
$$t_{\min} = 00 \text{ heure } 40 \text{ minutes}$$

2. Détermination du nombre des intervalles qui se rapproche de la racine de n et est de $r \cong 6$

3. Le calcul de la longueur de l'intervalle est effectué selon la relation (7) :

$$\Delta t = \frac{354 \text{ H} - 40 \text{ min}}{6} \Rightarrow \Delta t \cong 60$$

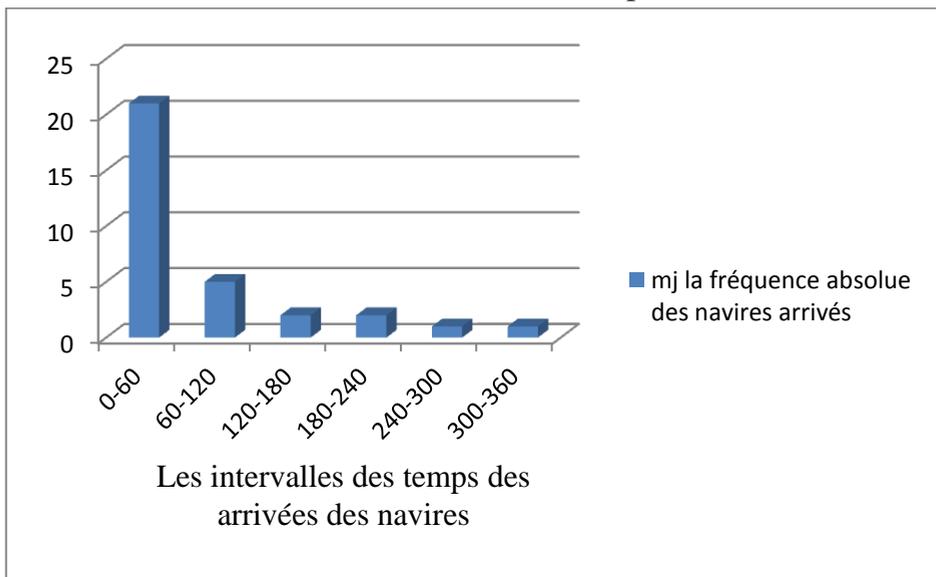
Le traitement des données statistiques de la loi de poisson qui correspondent aux temps des arrivés est effectué au tableau n°4 et schématisé à la figure n°3.

Tableau n°4: Traitement statistique des données relatives aux temps des arrivées des navires selon la loi de poisson

J	Limites de l'intervalle t_j, t_{j+1}	Centre de l'intervalle E_j	Fréquences absolues m_j	Fréquences relatives m_j/n
1	0-60	30	21	0,65625
2	60-120	90	5	0,15625
3	120-150	150	2	0,0625
4	180-240	210	2	0,0625
5	240-300	270	1	0,03125
6	300-360	330	1	0,03125
			$\sum m_j=32$	$\sum n_j/n \cong 1$

Source: Auteurs, en utilisant le programme Excel

Figure 3: Traitement statistique des données relatives aux temps des arrivées des navires selon la loi de poisson



Source: Auteurs, en utilisant le programme Excel

D'après l'histogramme, on constate que les navires qui ont un temps d'arrivée estimé entre 0 et 60 heures sont les plus fréquents. Il faut noter aussi qu'il s'agit des navires de petite ou moyenne taille (comme le montre le temps de service dans la figure 1). Ces navires occupent le quai constamment et augmentent ainsi le temps d'attente des autres navires (les navires de grande taille). Cela explique la fréquence réduite des navire de grande taille qui préfèrent être mieux servis dans un autre port. Donc le quai à une capacité de service limité.

- Le calcul du taux d'arrivé ($\bar{\lambda}_a$)

Pour calculer ($\bar{\lambda}_a$), on doit traiter les données statistiques des arrivées des navires (comme au tableau n° 5, puis calculer(\bar{t}) selon la relation (10).

Tableau n° 5:Calcul du taux moyen des arrivées des navires

1	2	3	4
j	Tj	mj	tjmj
1	30	21	630
2	90	5	45
3	150	2	300
4	210	2	420
5	270	1	270
6	230	1	330
		$\Sigma=32$	$\Sigma=2400$

Source: Auteurs, en utilisant le programme Excel

$$\Rightarrow \bar{t} = \frac{2400}{32} \Rightarrow \bar{t} = 75$$

Donc, ($\bar{\lambda}_A$) peut se calculer selon la relation suivante :

$$\bar{\lambda}_A = \frac{1}{\bar{t}} \dots\dots\dots (16)$$

$$\Rightarrow \bar{\lambda}_A = \frac{1}{75} = 0.01333 \text{ navire / heure soit } 9,59 \text{ navire/mois}$$

Où ($\bar{\lambda}_A$) est le taux d'arrivée des navires par heure

- Le calcul des intervalles du déterminant $\bar{\mu}$:

$$\mu_{\min} = \frac{\bar{\mu}}{\tau_{\min}} \dots\dots\dots (17)$$

$$\tau_{\min} = \frac{4(n-1)}{(\sqrt{4n-1} - \mu_{\alpha})^2} \dots\dots\dots (18)$$

Où, μ_{α} est l'équivalent de loi normale selon la signification α :

$$\tau_{\min} = \frac{4(32-1)}{(\sqrt{4 \times (32-1)} - 1,65)^2} = \frac{124}{89,12372} \Rightarrow \tau_{\min} = 1,39$$

$$\mu_{\min} = \frac{0,010523}{1,39} = 0,01095 \text{ navire / heure soit } 7,88 \text{ navire/mois}$$

$$\mu_{\max} = \frac{\bar{\mu}}{\tau_{\max}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\tau_{\max} = \frac{4(n-1)}{(\sqrt{4n-1} + \mu_{\alpha})^2} \dots\dots\dots (20)$$

$$\tau_{\max} = \frac{4(32-1)}{(\sqrt{4(32-1)} + 1,65)^2} \Rightarrow \tau_{\max} = \frac{124}{162,32127} = 0,76$$

$$\mu_{\max} = \frac{0,01523}{0,76} = 0,0200 \text{ navire / heure soit } 14,4 \text{ navire/mois}$$

$$7,88 \leq \bar{\mu} \leq 14,4$$

Le temps moyen des arrivées est donc de:

$$\bar{T}_a = \frac{1}{\bar{\mu}} \dots\dots\dots (21)$$

$$\bar{T}_a = \frac{1}{0,01523} = 65,65 \text{ heure}$$

Et pour calculer l'intervalle (Ta) :

$$a_2 = \frac{4n}{(\sqrt{4n-1} - \mu_\alpha)^2} \dots\dots\dots (22)$$

$$a_2 = \frac{4 \times 32}{(\sqrt{4(32-1)} - 1,65)^2} \Rightarrow a = \frac{1,38}{2}$$

$$a_1 = \frac{4 \times 32}{(\sqrt{4(32-1)} + 1,65)^2} \Rightarrow a_1 = 0,766$$

$$T_{\max} = a_2 Ta = 1,38 \times 65,65 = 90,597 \text{ heure}$$

$$T_{\min} = a_1 Ta = 0,766 \times 65,65 = 50,287 \text{ heure}$$

$$50,287 \leq Ta \leq 90,597$$

- Le calcul de l'intervalle du déterminant des arrivées des navires λ :

On à déjà : $\bar{\lambda} = 0,01333$

$$\lambda_{\max} = \frac{\bar{\lambda}}{\tau_{\max}} \dots\dots\dots (23)$$

$$\Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{0,01333}{0,76} = 0,0175 = 12,62$$

$$\lambda_{\min} = \frac{\bar{\lambda}}{\tau_{\min}} \dots\dots\dots (24)$$

$$\Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{0,1333}{1,39} = 0,0095 = 6,9 \approx 7$$

$$7 \leq \bar{\lambda} \leq 12,62$$

Le taux d'arrivée des navires est entre 12,62 navires par mois au maximum, et 7 navires par mois au minimum.

- Le calcul de l'intervalle du temps d'arrivées des navires :

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (25)$$

$$T_s = \frac{1}{0,01333} = 75,01 \text{ heure}$$

Les limites de l'intervalle de la moyenne du temps de service peuvent être déterminées en fonction des deux relations suivantes :

$$T_{s \min} = a_1 T_s \dots\dots\dots(26)$$

$$\Rightarrow T_{s \min} = 0,766 \times 75,01 = 57,01$$

$$T_{s \max} = a_2 T_s \dots\dots\dots(27)$$

$$\Rightarrow T_{s \max} = 1,38 \times 75,01 = 103,52$$

$$57,46 \leq T_s \leq 103,25$$

- Le calcul du taux d'exploitation p qui peut être calculé d'après $\bar{\lambda}$ et $\bar{\mu}$:

$$p = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}} \dots\dots\dots(25)$$

sachant que $\bar{\lambda} = 0,01333$ et $\bar{\mu} = 0,01523$

$$p = \frac{0,01333}{0,01523} = 0,875$$

IV.3. Détermination des indications de performance du port

Les probabilités finales des autres cas de système se calculent selon l'équation :

$$p_K = p^k (1 - p) \dots\dots\dots(28)$$

Mais, l'indicateur de compétence le plus important de ce système est la moyenne des nombres des navires dans ce système :

$$L = \frac{p}{1 - p} \dots\dots\dots(29)$$

$$\Rightarrow L = \frac{0,875}{1 - 0,875} = 7 \text{ navires}$$

D'après cet indicateur, on peut observer que le système à un seul serveur dans le quai N°04 n'est pas performant, car on trouve 7 navires en attente dans ce quai, ce qui va faire subir à l'entreprise portuaire de Mostaganem des coûts très élevés.

A propos de la moyenne de l'attente du navire dans le système :

$$\varpi = \frac{L}{\lambda} \dots\dots\dots(30)$$

$$\varpi = \frac{7}{0,01333} = 525 \text{ heures} \quad \text{soit environ 22 jours}$$

On peut dire que cet indicateur est une autre preuve qui démontre la non fiabilité de ce système car 22 jours d'attente pour un navire est un délai trop long.

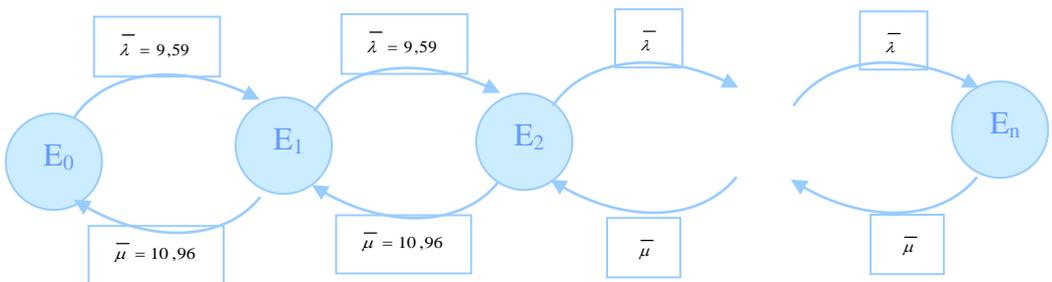
Sachant que : $\bar{\lambda} = 0,01333 \text{ navire / heure}$ Soit 10 navires par mois,
et $\bar{\mu} = 0,01523 \text{ navire / heure}$ Soit 11 navires par mois.

Ces valeurs permettent de déterminer les cas du système pour pouvoir l'analyser:

- E_0 : aucun navire ne se trouve dans le système (la demande est zéro) ;
- E_1 = un seul navire dans le système (le quai est occupé) ;
- E_2 = le quai est occupé et un autre navire est en file ;
- E_n = le quai est occupé et un autre navire est en attente.

Cette situation peut se répéter dans le système. d'où, la série de naissance et de mort prend le schéma suivant.

Figure 4: Série de naissance et de mort du système MM1



Source: Auteurs, basée sur des lectures de Bonald T. & Feuillet M. (2011), "Performances des réseaux et des systèmes informatiques", édition Lavoisier, France.

On peut donc calculer la probabilité du cas initial selon la relation suivante :

$$P_0 = 1 - P \quad \dots\dots\dots (31)$$
$$P_0 = 1 - 0,875 \Rightarrow P_0 = 0,125$$

La probabilité de non transfert du serveur est trop petite 12,5%, et les demandes dans la file sont:

$$Lq = \frac{(P)^2}{1 - P} \quad \dots\dots\dots (32)$$
$$Lq = 6,12 \text{ navires}$$

Le résultat obtenu démontre que ce système n'est pas fiable pour le cas du quai spécialisé des céréales. Surtout, en comparant les coûts d'attentes en rade avec les recettes. La moyenne d'attente du navire devient alors:

$$Wq = \frac{Lq}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (33)$$
$$Wq = \frac{6.12}{0.01333} = 459 \text{ h}$$

Soit, environ 19 jours par an. Ce qui représente des coûts importants pour le port.

Conclusion

Après avoir démontré l'importance de la logistique portuaire dans les ports de la quatrième génération et présenté la théorie des files d'attente, on a essayé d'examiner l'effet des capacités logistiques sur la performance des quais. L'étude empirique au niveau du port de Mostaganem démontre que le port de Mostaganem n'est pas un port de quatrième génération. La profondeur limitée du port le paralyse à recevoir les grands cargos. Aussi, les engins de manutention, du chargement et du déchargement relativement vieux ne permettent pas un service de bonne qualité. Il est évident que la performance du port reste néanmoins limitée.

Cette première impression sur le port est confirmée après l'application de la théorie des files d'attente, plus précisément, la mise en œuvre du système M/M/1 au quai spécialisé des céréales, où la moyenne d'attentes

des navires est d'environ 19 jours par an, ce qui fait supporter à l'entreprise des coûts très élevés. On confirme donc les trois hypothèses citées dans l'introduction et on conclut qu'il ne peut y avoir de ports performants sans une logistique portuaire de haut niveau.

Les résultats obtenus permettent de faire quelques propositions afin d'augmenter la fiabilité de service dans le port à travers le changement du système de service actuel en adoptant un autre système avec plusieurs serveurs et une file non bornée, et comme le flux de la demande est non limité pour des temps de service différent, il est donc possible qu'une file en parallèle donne le même service. Aussi, comme un seul quai est non fiable, nous proposons plusieurs quais à travers l'extension du port et l'apport des moyens logistiques nécessaires.

Références:

1. Bureau International du Travail (2002), "Travail dans les ports: répercussions sociales des nouvelles méthodes de manutention", Conférence internationale du travail, 90 session, Genève.
2. Bonald T. & Feuillet M. (2011), "Performances des réseaux et des systèmes informatiques", édition Lavoisier, France.
3. Caumel Y. (2011), "Probabilité et processus stochastiques", Springer-Verlag, France.
4. FRÉMONT A. (2009), "Intégration, non-intégration des transports maritimes, des activités portuaires et logistiques: Quelques évidences empiriques", Document de référence 2009-1 — OCDE/FIT.
5. Guillaume J. (2008), "Les transports maritimes dans la mondialisation", édition l'Harmattan, France
6. KLEINROCK L. (1976), "Queueing system" Vol 1: Theory, John Wiley & Sons, éditions, New York.
7. Lejeune M. (2010), "Statistique: la théorie et ses applications ", Edition Springer, deuxième édition, France.
8. Martin J. and Thomas B. J. (2001), "The container terminal community", Maritime Policy and Management, 28(3).

9. Mehri H. & Djemel T. (2009), "Etude de l'Attente Prioritaire Dans Les Ports", hal- 00258630, version 2.
10. OCDE(2000), "La desserte terrestre des ports maritimes", Table ronde n°113.
11. Robert P. (2000), "Réseaux et file d'attente: méthodes probabilistes", Springer, Allemagne.
12. Ruegg A. (1989), "Processus Stochastiques", Presses polytechniques romandes, Lausanne, Suisse.
13. Tseng Y., Yue W., Taylor M. (2005), "The Role of Transportation in Logistics Chain", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5.
14. Van de Voorde E . & Vaneldlander T. (2010), "Puissance de marché et intégration horizontale et verticales des activités maritimes et portuaires", dans OCDE/FIT, Intégration et concurrence entre le transport et les activités logistiques, Editions OCDE, Belgique.

• **Sites:**

www.rogp.hec.ulg.ac.be/Crama/Teaching/ROIllic/Docs/Chap2_Files.pdf
www.leressac.com/dossiers/presentations/article/la-logistique-portuaire

Annexes:

A 1: Date et temps des arrivées et des sorties des navires de céréales

Nom du Navire	Cargaison	N°	Arrivée à la rade		Entrée à quai		Sortie de quai	
			Date	Heure	Date	Heure	Date	Heure
Muenster	Blé	1	13/01/13	19: 00	15/01/13	22: 50	16/01/13	21: 00
Sommosky	Blé	2	17/01/13	11: 00	18/01/13	14: 15	21/01/13	23: 40
Sotiria	Blé	3	22/01/13	12: 00	23/01/13	07: 40	25/01/13	18: 00
Magarito	Blé	4	28/01/13	01: 30	31/01/13	12: 00	02/02/13	12: 30
Le Petane	Blé	5	04/02/13	22: 00	08/02/13	20: 45	11/02/13	15: 45
Perseas	Blé	6	11/02/13	10: 50	14/02/13	19: 15	19/02/13	10: 00
Margarita	Blé	7	10/03/13	20: 00	18/03/13	08: 45	20/03/13	16: 15
Sea-link	Blé	8	20/03/13	22: 55	21/03/13	08: 00	21/03/13	16: 15
Espada	Blé	9	27/03/13	05: 30	01/04/13	10: 35	03/04/13	11: 00
Milmi –K	Blé	10	05/04/13	12:00	08/02/13	17: 30	08/04/13	11: 00
Deven	Blé	11	08/04/13	02:15	14/02/13	12: 00	13/04/13	11: 15
Soemonskinp	Blé	12	12/05/13	09: 45	12/05/13	11: 55	15/04/13	10: 15
Narearita	Blé	13	17/05/13	12: 30	25/05/13	11: 45	27/05/13	20: 00
Deven	Blé	14	04/06/13	06: 30	05/06/13	10: 45	07/06/13	08: 00
NADAG	Blé	15	10/07/13	04: 30	12/07/13	20: 15	13/07/13	10: 35
MAS.K	Blé	16	14/07/13	07: 20	16/07/13	09: 20	19/07/13	17: 15
JAMNO	Blé	17	21/07/13	19: 06	21/07/13	19: 46	22/07/13	18: 30
Sormoucking	Blé	18	31/07/13	07: 00	31/07/13	15: 50	02/08/13	20: 55
Eurotrader	Blé	19	08/08/13	18: 41	11/08/13	16: 00	19/08/13	00: 00
USDYE	Blé	20	05/08/13	13: 50	07/08/13	17: 15	09/08/13	13: 00
Lady nursen	Blé	21	19/08/13	06: 30	26/08/13	17: 30	31/08/13	06: 55
Yenigapu	Blé	22	30/08/13	05: 15	01/09/13	09: 35	06/09/13	15: 00
ANDZER	Blé	23	08/09/13	15: 48	19/09/13	16: 12	24/09/13	10: 00
ARCHON	Blé	24	12/09/13	12: 30	27/09/13	06: 30	29/09/13	18: 00
TALTY	Blé	25	27/09/13	20: 30	29/09/13	20: 45	01/10/13	12: 30
TOTOS	Blé	26	02/10/13	08: 00	04/10/13	13: 30	05/10/13	19: 55
ENOMYA	Blé	27	13/10/13	00: 42	14/10/13	07: 00	20/10/13	12: 00
UHIT SEA	Blé	28	01/11/13	14: 25	03/11/13	13: 42	06/11/13	18: 25
HISAR	Blé	29	07/11/13	21: 25	07/11/13	22: 45	10/11/13	11: 40
MAS. K	Blé	30	20/11/13	22: 20	21/11/13	14: 10	24/11/13	10: 25
JACIARIF	Blé	31	27/11/13	09: 30	28/11/13	11: 30	30/11/13	19: 15
ANSIRO	Blé	32	20/11/13	10: 30	30/11/13	20: 50	04/12/13	14: 55

Source: document officiel de l'entreprise portuaire de Mostaganem

A2: Le classement des temps de service et des temps des arrivées progressivement

Le classement	Le temps de service	Le temps des arrivées
1	08 :15	0 :40
2	14 :20	0 :20
3	22 :10	2 :10
4	22:44	8 :50
5	30 :25	9 :05
6	39 :45	15 :50
7	41 :30	19 :40
8	43 :45	26 :00
9	45 :15	27 :15
10	48 :25	28 :15
11	48 :30	29 :30
12	53 :05	30 :18
13	55 :30	33 :45
14	55 :45	34 :20
15	56 :15	47 :17
16	58 :20	48 :15
17	59 :30	50 :00
18	60 :55	51 :25
19	67 :00	51 :50
20	68 :15	52 :20
21	70 :20	53 :30
22	76 :43	63 :45
23	79 :55	69 :19
24	81 :25	8 :25
25	90 :05	82 :30
26	95 :15	94 :45
27	109 :25	125 :05
28	110 :45	179 :00
29	113 :48	180 :45
30	125 :25	191 :15
31	149 :00	264 :24
32	176 :00	354 :00

Source: auteurs (Basés sur les données de l'annexe A1)