

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mira Abderrahmane de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Mathématiques Appliquées
Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision*

Thème

Contribution à la Modélisation et l'Évaluation des Performances du Terminal à Conteneurs BMT



Réalisé par :

- M^r MESROUR Amirouche
- M^r TEBRI Ryad

<u>Président du jury :</u>	M ^r M. BOUALEM	M.C.A	Université de Béjaïa.
<u>Examinatrices :</u>	M ^{me} S. HOCINE	M.A.A	Université de Béjaïa.
	M ^{me} Y. DJABALI	M.A.A	Université de Béjaïa.
<u>Promotrice :</u>	M ^{me} F. AOUDIA	M.C.B	Université de Béjaïa.
<u>Invités :</u>	M ^r M. ZIDANE	Directeur de la D.O	BMT.
	M ^r K. HADJAL	Cadre	BMT.

Jun 2016

Abréviations

BMT	:	Bejaia Mediterranean Terminal.
EPB	:	Entreprise Portuaire de Béjaia.
TC	:	Conteneur.
EVP	:	Equivalent Vingt Pieds (TC 20 pieds).
QC	:	Quai crane (Portique de quai).
RTG	:	Rubber Tier Guntry (Portique sur pneus).
SNTF	:	Société Nationale du Transport Ferroviaire.
CTMS	:	Container Terminal Managment System.
PDS	:	Position Dermining System.
OCR	:	Optical Character Recognition.
RDS	:	Radio Data System.
MOL	:	Marque de camions remorqueurs portuaire.

Remerciements

Au terme de ce travail, on adresse nos remerciements à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la motivation de terminer dans les délais.

Nos remerciements les plus vifs vont d'abord à M^{me} F.AOUDIA , notre encadreur, qui nous a proposé ce sujet et qui nous a permis de concrétiser ce travail de par sa disponibilité malgré ses grandes responsabilités et sa gentillesse.

Nous exprimons toute notre gratitude à M^{me} Z.AOUDIA, pour ses précieux conseils pendant toute la durée de notre travail.

Nous remercions également les membres du jury : Mr M.BOUALEM pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury, et à M^{me} S.HOCINE et M^{me} Y.DJABALI pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont également également aux responsables de la BMT pour nous avoir accepté au sein de cette dernière. Nous tenons une place particulière à Mr M.ZIDANE et Mr K.HEDJAL.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

À mes très chers parents,

À ma sœur et mes frères,

Qui ont été là lors de mes heures les plus sombres et mes moments les plus heureux,

Qui m'ont soutenu dans tout ce que j'ai entrepris,

Qui ont veillé jour et nuit pour que je réussisse,

Qu'ils trouvent dans ce modeste travail,

Toute mon affection,

Ma reconnaissance,

À ma famille,

À mon très cher binôme,

À mes amis,

Je dédie ce mémoire.

MESROUR Amirouche

Dédicaces

À mes très chers parents,

À mes soeurs et à mon frère,

Qui ont été là lors de mes heures les plus sombres et mes moments les plus heureux,

Qui m'ont soutenu dans tout ce que j'ai entrepris,

Qui ont veillé jour et nuit pour que je réussisse,

Qu'ils trouvent dans ce modeste travail,

Toute mon affection,

Ma reconnaissance,

À ma famille,

À mon très cher binôme,

À mes amis,

Je dédie ce mémoire.

TEBRI Ryad

Table des matières

Table des matières	VII
Liste des tableaux	IX
Introduction générale	1
1 Entreprise BMT	4
1.1 Présentation de BMT	4
1.1.1 Création	4
1.1.2 Définition de la BMT	4
1.1.3 Position géographique	5
1.1.4 Les lignes maritimes desservant BMT :	5
1.2 La structure de l'entreprise	6
1.2.1 Direction Générale (DG)	6
1.2.2 Direction des Ressources Humaines (DRH)	6
1.2.3 Direction des Opérations (DO)	6
1.2.4 Direction Marketing (DM)	9
1.2.5 Direction des Finances et de Comptabilité (DFC)	9
1.2.6 Direction Technique (DT)	10
1.3 Parc à conteneurs	11
1.3.1 Le terminal à conteneur de BMT :	11
1.3.2 Capacité :	11
1.3.3 Équipements :	12
1.4 Les outils de gestion du terminal :	12
1.4.1 Le CTMS (Container Terminal Management System)	12
1.4.2 PDS (Position Determining System)	13
1.4.3 RDS (Radio Data System)	13
1.4.4 OCR (Optical Character Recognition)	14
1.5 Organisation de travail :	14
1.6 Les Atouts de l'entreprise	14
1.7 Les procédures de BMT	15
1.7.1 A l'import	15
1.7.2 A l'export	17
1.8 Objectifs de BMT	18
1.9 Position du problème	20

2	Les files d'attente	21
2.1	Généralités sur les files d'attente	21
2.1.1	Définition d'un phénomène d'attente	21
2.1.2	Classification des systèmes d'attente	21
2.1.3	Notation de Kendall-Lee	22
2.1.4	Analyse mathématique	23
2.1.5	Quelques caractéristiques d'un système d'attente	23
2.2	Modèles Markoviens	23
2.2.1	Le système M/M/1	23
2.3	Modèles non Markoviens	25
2.3.1	Le système M/G/1	25
2.3.2	Le système G/M/1	25
2.3.3	Le système G/G/1	25
2.4	Les réseaux de files d'attente	25
2.4.1	Les réseaux de Jackson	26
2.4.2	Les réseaux BCMP	27
2.4.3	Les réseaux avec blocage	27
3	Modélisation et ajustement des processus de débarquement et embarquement	29
3.1	Description des principaux mouvements des conteneurs	29
3.1.1	L'étape de mouillage	30
3.1.2	L'étape de service	30
3.2	Affectation des équipements au niveau de BMT	31
3.2.1	Décision d'affectation des Grues de Quai	31
3.2.2	Décision d'affectation des Mols	31
3.2.3	Affectations des RTGs	31
3.2.4	Choix du bloc de débarquement	32
3.3	Collecte de données	32
3.4	Le processus de débarquement au niveau de BMT	32
3.4.1	Description du modèle associé au débarquement au quai 1	33
3.4.2	Description du modèle associé au débarquement au quai 2	37
3.4.3	Service du Steacker	38
3.4.4	Service des Mols	38
3.4.5	Service des RTGs	38
3.4.6	Modèle final associé au processus de débarquement	39
3.5	Identification des différentes lois gouvernant le processus de débarquement	40
3.5.1	Débarquement avec QC1	40
3.5.2	Débarquement avec QC2	45
3.5.3	Débarquement avec la Grue Lihber	49
3.5.4	Débarquement avec la Grue mobile MHC	57
3.5.5	Lois de service de l'RTG	65
3.6	Le processus d'embarquement au niveau de BMT	68
3.6.1	Description du modèle associé à l'embarquement au quai 1	68
3.6.2	Description du modèle associé à l'embarquement au quai 2	71
3.6.3	Service Mols	72
3.6.4	Zone de stockage du vides et des conteneurs destinés à l'export	72
3.6.5	Modèle Final associé au processus d'embarquement	72

3.7	Identification des différentes lois gouvernant le processus d'embarquement	74
3.7.1	Embarquement avec le QC1	74
3.7.2	Embarquement avec le QC2	77
3.7.3	Embarquement avec la Grue Lihber	80
3.7.4	Embarquement avec la Grue MHC	83
3.8	Description du modèle de débarquement/embarquement en parallèle	86
3.8.1	Description du processus associé au débarquement/l'embarquement en parallèle au quai 1	86
3.8.2	Description du processus associé au débarquement/embarquement au quai 2	90
3.8.3	Modèle final associé au processus de débarquement/embarquement en parallèle	92
4	Résultats de la simulation à événements discrets	94
4.1	Comparaison entre la productivité et les résultats de la simulations	94
4.1.1	Productivité théorique	94
4.1.2	Productivité obtenue par simulation	95
4.1.3	Comparaison entre les productivités théoriques et les productivités obtenue par la simulation	95
4.1.4	Taux réel d'utilisation des grues de quai	99
4.2	Nombre de Mols nécessaire pour chaque grue de Quai	101
4.2.1	Le processus de débarquement	101
4.3	Influence de la variation du Nombre de Mols lors du processus de débarquement sur la saturation au niveau des blocs de stockage	105
4.4	Nombre des RTGs nécessaire	107
4.4.1	Comparaison des résultats de la simulation et ceux de la réalités	107
4.5	Comparaison entre les durées moyennes d'activité des grues du quai avec la variation du nombre de Mols	109
4.6	La combinaison optimale des Grues de quai durant le traitement d'un navire	110
	Conclusion générale	113
	Bibliographie	115

Table des figures

1.1	Jointe venture	4
1.2	Position Géographique	5
1.3	Les lignes maritimes desservant BMT	6
1.4	Service Manutention	7
1.5	Service Acconage	8
1.6	Traitement Frigorifique	8
1.7	Zone Visite	9
1.8	Plan du terminal	11
1.9	Les procédures à l'import	17
1.10	Les procédures à l'export	18
2.1	Réseau de files d'attente avec blocage.	27
3.1	Débarquement avec un seul QC	33
3.2	Débarquement avec une seule	34
3.3	Débarquement avec deux QCs	35
3.4	Débarquement avec QC et Grue	35
3.5	Débarquement avec deux QCs et une Grue	36
3.6	Débarquement avec deux Grues	37
3.7	Modèle général de l'une des situation de débarquement.	39
3.8	Histogramme des durées de service du QC1 lors du processus de débarquement	41
3.9	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service du QC1 lors du processus de débarquement	42
3.10	Histogramme des durées de rotation des Mols	42
3.11	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du processus de débarquement avec le QC1	43
3.12	Histogramme des durées d'attente du QC1 lors du processus de débarquement	44
3.13	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées d'attente du QC1 lors du processus de débarquement.	45
3.14	Histogramme des durées de service du QC2 lors du processus.	45
3.15	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service du QC2 lors du processus de débarquement.	46
3.16	Histogramme des durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement avec le QC2.	47
3.17	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du débarquement avec QC2.	48

3.18	Histogramme des durées d'attente du QC2 lors du processus de débarquement.	48
3.19	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées d'attente du QC2 lors du processus de débarquement.	49
3.20	Histogramme des durées de service de la Grue Lihber au débarquement.	50
3.21	Comparaison des fonctions théorique et empirique des durées de service de la Grue Lihber au débarquement.	51
3.22	Histogramme des durées de service du Steacker	52
3.23	Comparaison des fonctions de répartitions théorique et empirique de la loi de service du Steacker	53
3.24	Histogramme des durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber	53
3.25	Comparaison des fonctions de répartitions théorique et empirique de la loi des durées de rotations des Mols	54
3.26	Histogramme des durées d'attente de la Grue Lihber lors du processus de débarquement	55
3.27	Comparaison des fonction de répartition théorique et empirique des durées d'attente de la Grue Lihber	56
3.28	Histogramme des durées d'attente du Steacker	56
3.29	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées d'attente du Steacker	57
3.30	Histogramme des durées de service de la Grue MHC	58
3.31	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service de la Grue MHC lors du processus de débarquement	59
3.32	Histogramme des durées de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue MHC	59
3.33	Comparaison des fonction de répartition théorique et empirique des durées de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la grue MHC	60
3.34	Histogramme des durées de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC	61
3.35	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC	62
3.36	Histogramme des durées d'attente de la Grue MHC lors du processus de débarquement avec la Grue MHC	62
3.37	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des attentes de la Grue MHC lors du processus de débarquement.	63
3.38	Histogramme des durées d'attente du Steacker.	64
3.39	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des attentes du Steacker lors du processus de débarquement.	65
3.40	Histogramme des durées de service de l'RTG.	65
3.41	Comparaison des fonctions de répartitions théorique et empirique de la loi de service de l'RTG.	66
3.42	Histogramme des durées de service de l'RTG.	67
3.43	Comparaison des fonctions de répartitions théorique et empirique de la loi de service de l'RTG.	68
3.44	Embarquement avec un seul QC	69
3.45	Embarquement avec deux QCs	70
3.46	Embarquement avec deux QCs et Grue	71
3.47	Modèle général de l'une des situation d'embarquement.	73

3.48	Histogramme des durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement.	74
3.49	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement	75
3.50	Histogramme des durées de rotations des Mols	76
3.51	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du processus d'embarquement avec le QC1	77
3.52	Histogramme des durées de service du QC2	77
3.53	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service du QC2	78
3.54	Histogramme des durées de rotations des Mols	79
3.55	Histogramme des durées de rotations des Mols	80
3.56	Histogramme des durées de service de la grue Lihber	80
3.57	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service de la Grue Lihber	81
3.58	Histogramme des durées de rotations des Mols	82
3.59	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de rotations des Mols	83
3.60	Histogramme des durées de service de la grue MHC	83
3.61	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service de la Grue MHC	84
3.62	Histogramme des durées de rotations des Mols	85
3.63	Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service des Mols	86
3.64	Débarquement avec Grue et Embarquement avec QC	87
3.65	Débarquement avec QC1 et Embarquement avec QC2	88
3.66	Débarquement avec la Grue et Embarquement avec 2 QCs	89
3.67	Débarquement avec QC1 Grue et Embarquement avec QC2	90
3.68	Débarquement avec la Grue MHC et embarquement avec la Grue Lihber	91
3.69	Modèle générale de l'une des situation du processus débarquement et embarquement en parallèle.	92
4.1	Productivité réelle et simulée des opérations de débarquement du QC1	96
4.2	Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement du QC1	96
4.3	Productivité réelle et simulée des opérations de débarquement du QC2	97
4.4	Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement du QC2	97
4.5	Productivité réelle et simulée des opérations débarquement de la grue Lihber	98
4.6	Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement de la grue Lihber	98
4.7	Productivité réelle et simulée des opérations de débarquement de la grue MHC	99
4.8	Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement de la grue MHC	99
4.9	Taux d'occupation des grues de quai lors du processus de débarquement	100
4.10	Taux d'occupation des grues de quai lors du processus d'embarquement	100
4.11	Taux d'occupation des ressources en fonction du nombre des Mols durant le processus de débarquement	103
4.12	Taux d'utilisation des ressources en fonction du nombre de Mols utilisés durant le processus d'embarquement	105
4.13	Taux de saturation du parc en fonction du nombre de Mols utilisé par une grue du quai. .	106
4.14	Taux d'utilisation de chaque RTG en fonction du nombre des RTGs	109

4.15 Organigramme de déroulement des deux processus d'embarquement et de débarquement pour le QC	I
4.16 Organigramme de déroulement des deux processus d'embarquement et de débarquement pour la grue mobile	II

Liste des tableaux

1.1	Les caractéristiques du terminal	11
1.2	Les Équipements de BMT	12
3.1	Ajustement de la loi des durées de service du QC1 lors du processus de débarquement . . .	41
3.2	Ajustement de la loi des durées de rotation des mols lors du processus de débarquement avec QC1	43
3.3	Ajustement de la loi des durées d'attente du QC1 lors du processus de débarquement . . .	44
3.4	Ajustement de la loi des durées de service du QC2 lors du processus de débarquement . . .	46
3.5	Ajustement de la loi des durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement avec QC2	47
3.6	Ajustement de la loi des durées d'attente du QC2 lors du processus de débarquement . . .	49
3.7	Ajustement de la loi des durées de service de la Grue Lihber au débarquement	51
3.8	Ajustement de la loi des durées de service du Steacker	52
3.9	Ajustement de la loi des durées de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber	54
3.10	Ajustement de la loi des durées d'attente de la Grue Lihber lors du processus de débarquement	55
3.11	Ajustement de la loi des durées d'attente du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber.	57
3.12	Ajustement de la loi des durées de service de la Grue de service de la Grue MHC	58
3.13	Ajustement de la loi de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue MHC	60
3.14	Ajustement de la loi des durées de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC	61
3.15	Ajustement de la loi de la durée d'attente de la Grue MHC lors du processus de débarquement	63
3.16	Ajustement de la loi d'attente du Steacker lors du processus de débarquement	64
3.17	Ajustement de la loi de service de l'RTG	66
3.18	Ajustement de la loi de service de l'RTG	67
3.19	Ajustement de la loi des durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement . . .	75
3.20	Ajustement de la loi des durées de rotations des Mols lors du processus d'embarquement .	76
3.21	Ajustement de la loi de service du QC2 lors du processus d'embarquement	78
3.22	Ajustement de la loi de service des Mols lors du processus d'embarquement	79
3.23	Ajustement de la loi de service de la Grue Lihber lors du processus d'embarquement . . .	81
3.24	Ajustement de la loi de service des Mols lors du processus d'embarquement	82
3.25	Ajustement de la loi de service de la Grue MHC lors du processus d'embarquement	84
3.26	Ajustement de la loi de service des Mols lors du processus d'embarquement	85

4.1	Résultats théoriques lors du Débarquement	94
4.2	Résultats théoriques lors du processus d'embarquement	95
4.3	Résultats de la simulation lors du processus de débarquement	95
4.4	Résultats de la simulation lors du processus d'embarquement	95
4.5	Variation des performances du service fournie par le QC1 en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900 TCs.	101
4.6	Variation des performances du service fournie par le QC2 en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900 TCs.	102
4.7	Variation des performances du service fournie par la grue Lihber et les durées moyennes d'attentes en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900TCs.	102
4.8	Variation des performances du service fournie par la grue MHC et les durées moyennes d'attentes en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900TCs.	103
4.9	Performances des grues de quai lors du processus d'embarquement en fonction du nombre des Mols	104
4.10	Nombre de conteneurs débarqué et livré en fonction du nombre de Mols sur une période d'une année.	106
4.11	Productivité réelle des RTGs par shitf.	107
4.12	Productivité simulé des RTGs par shitf.	108
4.13	Variation des performances du service fournie par les RTGs en fonction du nombre des RTGs utilisées.	108
4.14	Durée moyenne d'activité de chaque grue de quai en fonction du nombre des Mol.	110
4.15	Durées moyennes de traitement en heure d'un porte-conteneurs de capacité de 900 TCs avec les différentes combinaisons des grues de Quai.	111

Introduction générale

L'espace maritime est défini comme un système géographique dont la finalité consiste à relier les espaces continentaux [1].

La mobilité, en l'occurrence celle des marchandises, s'impose dès lors qu'il y a une activité commerciale. L'évolution des pratiques d'exploitation commerciale a pratiquement marqué le domaine du transport maritime. Ce dernier n'est possible que si la marchandise, objet du transport est reçue, chargée au port d'embarquement et déchargée au port de destination finale [2]. Ces opérations de chargement et de déchargement sont dorénavant dévolues à des opérateurs spécialisés. Une spécialisation devenue nécessaire dans le souci de satisfaire la clientèle maritime et les impératifs de concurrence ainsi qu'une gestion saine des entreprises.

Si le transport maritime occupe un faible rang voire inexistant dans le transport des marchandises au plan interne, il est un instrument privilégié des échanges internationaux et a connu plusieurs révolutions pour s'adapter au fil du temps à l'évolution des échanges. Plus de 70 pour cent du trafic de marchandises passe par voie maritime et surtout par la conteneurisation.

En effet, l'introduction du conteneur dans le déplacement des marchandises a révolutionné les techniques et l'organisation du transport maritime. La conteneurisation a suscité en outre l'avènement des navires spécialisés, ce qui a entraîné la nécessité de mettre en place de nouvelles structures dans les ports, et de les équiper notamment d'appareils de levage spéciaux. Les ports qui souhaitent ou qui doivent accueillir un grand nombre de volume de conteneurs sont contraints de créer des installations spécialisées pour assurer la réception des navires adaptés à ce type de transport. Dans cette optique, un espace est aménagé pour l'exploitation de ces emballages et est appelé terminal à conteneurs.

Qu'appelle-t-on donc "un conteneur" ?

Un conteneur ou container est une caisse de dimensions normalisées pour le stockage, la manutention, le transport de matières, de lots d'objets, de marchandises, pour le parachutage d'armes ou de vivres ; un récipient transportable permettant de pratiquer des cultures hors sol. De façon plus technique, le conteneur se définit comme étant un engin de transport, constituant un compartiment, totalement ou partiellement clos, destiné à contenir des marchandises ; conçu de manière à être aisément manipulé, notamment lors de son transbordement d'un mode de transport à un autre. Le transport intermodal nécessite le passage par des installations fines équipées de moyens de manutentions permettant le transfert du rail à la route, de la mer au rail ou à la voie fluviale et vice versa. Ces installations sont communément appelées TERMINAL en langage maritime et

dans les pays de culture anglo-saxonne [3]. Ainsi défini, le terminal à conteneur apparaît comme une plate-forme, constituant un maillon important dans la chaîne de transport et reliant le port d'embarquement et de débarquement au point de destination finale où la marchandise devra être livrée.

En effet, dans le domaine maritime, il est essentiel de respecter les délais de livraison et de réduire les coûts des différentes opérations de manutention et de transfert de conteneurs, en tenant compte de la productivité du port. L'amélioration de la performance d'un port est souvent un enjeu très important, notamment en raison des coûts considérables inhérents à sa gestion. Un terminal maritime à conteneurs est un système complexe où la manutention et le transport de conteneurs jouent un rôle crucial. Sa performance dépend de la pertinence des décisions, au niveau stratégique, tactique et opérationnel. À chaque niveau, plusieurs problèmes se dégagent, tels que l'ordonnancement des équipements de manutention, l'affectation des navires aux quais ou l'optimisation des espaces de stockage. Les gestionnaires font face donc à de nombreux défis de prise de décision au niveau des quatre zones, à savoir : l'interface maritime, la zone de transfert interne, la zone de stockage, et l'interface terrestre.

Face au flux croissant de conteneurs, aux contraintes de compétitivité de plus en plus rigoureuses, à l'augmentation remarquable de la capacité des porte-conteneurs, à la congestion qui en résulte et au coût d'exploitation accru des porte-conteneurs, tout terminal à conteneurs doit assurer sa croissance et sa rentabilité, tout en sachant maîtriser ses impacts environnementaux. Par ailleurs, par faute d'augmenter l'espace et le nombre de ressources des terminaux, il reste à adapter le flux aux moyens existants et à améliorer la fluidité du flux.

Dans ce contexte, BEJAIA MEDITERRANEAN TERMINAL bénéficie d'une situation géographique privilégiée à l'entrée du range nord-est de l'Afrique et irrigue les marchés algériens, et nord africains. Cette position stratégique fait du terminal de BMT, le premier terminal à conteneurs algérien pour le commerce extérieur. Il est le premier terminal en Algérie qui dote d'un matériel spécialisé dans le traitement des conteneurs, et en terme de trafic conteneurisé.

L'objectif de BMT est d'augmenter la part modale des transports massifiés. D'un autre point de vue, le but est d'apporter de meilleures réponses à leurs clients, pour se démarquer de la concurrence.

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la continuation de toutes les études intensives menées durant cette dernière décennie dans le but de mieux comprendre le fonctionnement du parc à conteneurs de BMT, et de mieux prévoir également ses performances à l'avenir en cas de variation des paramètres.

En effet, depuis la création de BMT en 2004 plusieurs ont été faites afin d'assurer le bon fonctionnement du terminal à conteneurs. Parmi les problématique traités, deux sont proches de celle qu'on a considéré, à savoir :

- Celle réalisée en 2009 [4], 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. Sauf dans cette étude, les deux processus débarquement et embarquement ont été considérés séparément, contrairement à ce

que nous avons réalisé dans notre travail.

- La deuxième est celle réalisée en 2011 [5], 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, mais sans tenir compte du paramètre livraison. Elle avait pour objectif aussi d'effectuer une étude comparative entre, QC et la grue mobile portuaire.

Finalement, on peut dire que nos recherches traitent de l'évaluation des performances du terminal à conteneurs de BMT. L'enjeu principale consiste à améliorer la fluidité des conteneurs et à assurer une livraison en un temps minimal.

Nous avons d'abord modélisé les différentes situations qui interviennent dans les processus de débarquement et embarquement. Puis, nous avons ajusté les lois qui gouvernent ces processus afin de dégager les modèles d'attente les plus fidèles à la réalité. Ceci nous a permis de dégager un certain type de réseau de files d'attente assez complexe pour lesquels l'expression analytique de ses caractéristiques est impossible à établir. C'est pour cela nous avons fait recours à la simulation à événements discrets, afin de retrouver les performances souhaitées du parc.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous décrivons l'entreprise BMT, ses structures, ainsi que ses moyens et ses services.

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes contenté de donner un bref aperçu de certains éléments de la théorie des files d'attente et des réseaux de files d'attente.

Le troisième chapitre est dédié à la modélisation et l'ajustement des lois en se servant des données récoltées lors de notre stage effectué au sein de l'entreprise BMT, entre les mois de Mars et le mois de Juin 2016.

L'osature du dernier chapitre, qui est la détermination des performances les plus significatives actuelles du parc BMT et celle en cas de variation des paramètres d'entrée.

En fin, une conclusion générale est donnée à la fin de ce mémoire faisant le bilan du travail effectué et des résultats obtenus. Des perspectives sont également évoquées.

Entreprise BMT

1.1 Présentation de BMT

1.1.1 Création

Dans son plan de développement 2004-2006, l'entreprise portuaire de Béjaia avait inscrit à l'ordre du jour le besoin d'établir un partenariat pour la conception, le financement, l'exploitation d'un terminal à conteneurs au port de Béjaia. [6]

Dès lors, L'EPB (Entreprise Portuaire de Béjaia) s'est lancée dans la tâche d'identifier les partenaires potentiels et a arrêté son choix sur le groupe PORTEK qui est spécialisé dans le domaine de la gestion des terminaux à conteneurs. Le projet a été présenté au conseil de la participation de l'état (CPE) en février 2004. Le CPE a donné son accord au projet en mai 2004.

Sur accord du gouvernement, Béjaia Mediteranean Terminal (BMT) a vu le jour avec la jointe venture de l'entreprise portuaire de Béjaia (EPB) à 51% et (PORTEK) une société Singapourienne à 49%. PORTEK est un opérateur de terminaux spécialisé dans les équipements portuaires. Il est présent dans plusieurs ports dans le monde.



FIGURE 1.1 – Jointe venture

1.1.2 Définition de la BMT

BMT est créée comme une société par action. C'est une entreprise prestataire de service spécialisée dans le fonctionnement, l'exploitation, et la gestion du terminal à conteneur. Pour atteindre son objectif, elle s'est dotée d'un personnel compétent particulièrement formé dans les opérations

de gestion du terminal. Elle dispose d'équipement d'exploitation les plus perfectionnés de qualité, d'efficacité et de fiabilité en des temps record et à des coûts compétitifs. BMT offre ses prestations sur la base de 24h/7j.

1.1.3 Position géographique

Implanté au centre du pays, le port de Béjaia jouit d'une situation géographique stratégique. Il se situe à une latitude de 36°45/24 et une longitude de 5°05/05. Il dispose de sites de mouillage avec des profondeurs variant de 10 m à plus 20 m. la passe d'accès au port est formée par les deux musoirs de la jetée Est et la jetée Sud. Dès lors, BMT offre des commodités exceptionnelles aux opérateurs. BMT se trouve à proximité de la gare ferroviaire, à quelques minutes de l'aéroport de Béjaia, et reliée au réseau routier national qui facilite le transport de marchandises conteneurisée de toute nature vers l'arrière pays et vers d'autres destinations telles que, la banlieue d'Alger.



FIGURE 1.2 – Position Géographique

1.1.4 Les lignes maritimes desservant BMT :

Une position géographique ainsi qu'une infrastructure et des services efficaces font du port de Béjaia le port préféré pour le commerce national et international, et de Béjaia Mediteranean Terminal à conteneurs l'opérateur par excellence. Le port de Béjaia est desservi par plusieurs lignes régulières provenant de divers ports européens.



FIGURE 1.3 – Les lignes maritimes desservant BMT

1.2 La structure de l'entreprise

1.2.1 Direction Générale (DG)

C'est la pièce maitresse de l'entreprise. A sa tête, le directeur générale qui gère l'entreprise, il a le pouvoir de décision, administre l'entreprise, assigner des directives pour les différentes structures et faire le lien entre les directions de l'entreprise.

1.2.2 Direction des Ressources Humaines (DRH)

Service personnel

Mettre en oeuvre des systèmes de gestion intégrés 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 meilleurs potentiels.

Service des moyens généraux

Chargé des achats et de la gestion des stocks de l'entreprise.

Service hygiène et sécurité

Assure la sécurité de la marchandise, du parc à conteneurs et la propreté de l'entreprise et de son environnement.

1.2.3 Direction des Opérations (DO)

Assure la planification des escales, de parc à conteneurs et la planification des ressources (humaines et matérielles). Elle prend en charge les opérations de manutentions, comme la réception

des navires porte-conteneurs et leur chargement et déchargement, comme elle suit les opérations de l'acconage telles que : le suivi des livraisons, dépotage, mise à disposition des conteneurs vides, et traitement des conteneurs frigorifiques.

Service manutention

Assure la gestion des opérations au niveau des navires. Après accostage du navire, des équipes spécialisées s'occupent de toutes les opérations de manutention au navire :

- Débarquement des conteneurs ;
- Shifting des conteneurs ;
- Shifting des calles ;
- Embarquement des conteneurs ;
- Travaux de régie au navire.

Les portiques de quai représentent les ressources essentielles à l'exécution de ses prestations ; le nombre de conteneurs embarqués ou débarqués par heure (cadence) constitue une mesure de la qualité de service.



FIGURE 1.4 – Service Manutention

Service Acconage

Assure la gestion des opérations au niveau du terminal. Une fois le conteneur est disposé dans le parc, les opérations suivantes peuvent alors prendre place :

1. Visite ;
 - Douane ;
 - DCP ;
 - Phytosanitaire ;
 - Vétérinaire.

2. Pesés ;
3. Livraison ;
4. Dépotage ;
5. Mise à disposition ;
6. Restitution.

BMT assigne des ressources humaines et matérielles pour effectuer ses différents types de prestations aux conteneurs. Les portiques gerbeurs sur pneus (RTG) sont essentiels à l'exécution de ces opérations. La qualité de service est mesurée à ce niveau par le nombre de livraison et restitution effectuées par jour.



FIGURE 1.5 – Service Acconage

Le Traitement Frigorifique

Le traitement des conteneurs frigorifiques ; branchement, gardiennage, et monitoring de la température est assuré par une équipe spécialisée du département technique au niveau de la zone REEFER.

En cas de défaillance d'un conteneur frigorifique, sur demande du client, l'équipe technique de BMT peut effectuer une intervention curative en réparant une unité défaillante.



FIGURE 1.6 – Traitement Frigorifique

Empotage et Dépotage

BMT compte des équipes spécialisées pour assurer l'empotage et le dépotage des conteneurs. La cadence de dépotage et d'empotage dépend de la marchandise et de la rapidité d'exécution qui constitue une autre mesure de qualité du service.

Deux équipes constituées de 8 personnes qui assurent cette prestation. Les engins affectés à cette tâche sont : Clarcks et Steakers.



FIGURE 1.7 – Zone Visite

1.2.4 Direction Marketing (DM)

Service Marketing

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

Service Commercial

Il suit la facturation, la gestion du portefeuille des clients et le recouvrement.

Département Informatique

Il assure le bon fonctionnement du système logiciel CTMS, la maintenance du parc informatique de l'entreprise et le développement de nouvelles applications aux différentes structures.

1.2.5 Direction des Finances et de Comptabilité (DFC)

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

Service des Finances

Il 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 au niveau de la banque.

Service de Comptabilité

Il procède au contrôle et à l'enregistrement de toutes les factures d'achats, de prestation et d'investissement.

1.2.6 Direction Technique (DT)

La mission de la direction technique est d'assurer une maintenance préventives et curative des engins du parc à conteneurs. La mission opérationnelle est de :

- La maintenance et l'entretien des différents engins ;
- Maintenir et trouver la panne défectueuse des mécanismes ;
- Résolution des problèmes (issues) chroniques de la machine ;
- Amélioration des performances par l'optimisation des procédures PM ;
- Fournir le support technique à tout le métal du port ;
- Entretien, installation, test, mise à jour, préparation et dépannage du matériel du port ;
- Enregistrement historique d'entretien de machines de maintenance ;
- Exécuter la maintenance et la préparation préventive des machines de production ;
- Fournir la formation technique pour le personnel interne et externe.

Service Engins

Il Assure l'entretien des véhicules lourds.

Service Portiques

Il Assure l'entretien des portiques et les grues mobiles

Service Méthodes

Assure la mise en oeuvre du plan de maintenance des équipements.

1.3 Parc à conteneurs

1.3.1 Le terminal à conteneur de BMT :

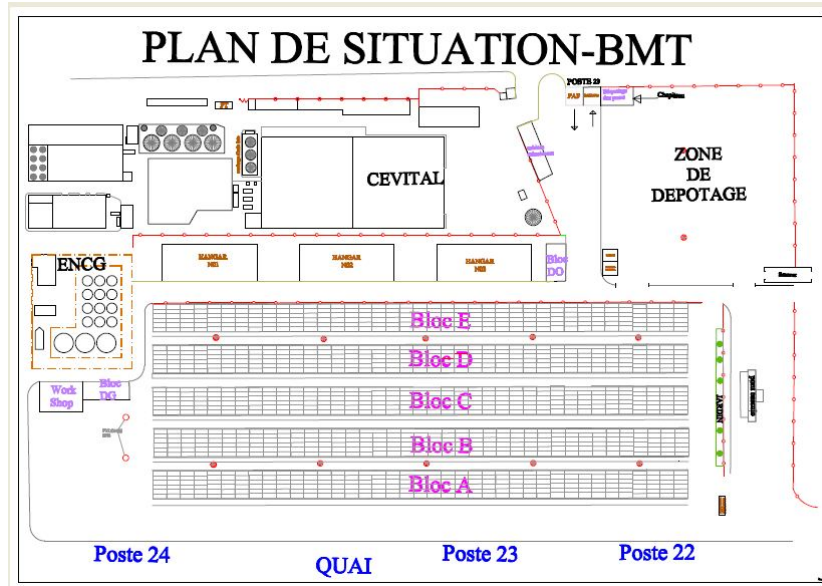


FIGURE 1.8 – Plan du terminal

1.3.2 Capacité :

Avec quatre postes à quai de 500m, un tirant d'eau de 12m à partir chenal, et une capacité de stockage de 10300 EVP, le terminal à conteneurs de Béjaia offre des installations spécialisées pour les conteneurs frigorifiques et les produits dangereux. Le Tableau (1.1), résume les caractéristiques de ce terminal à conteneurs.

Quai/Accostage	Longueur :	500m
	Profondeur :	12m
	Superficie du bassin :	60h
	Nombre de postes à quai :	04
	Taux d'utilisation du quai :	70%
Parc à conteneurs (Plein)	Capacité :	8300 EVP
	Superficie :	78500m ²
Parc à conteneurs (vide)	Capacité :	900 EVP
	Superficie :	15200m ²
Parc à conteneurs (plein) Frigorifiques	Capacité :	500 EVP
	Superficie :	2800m ²
Zone Pour Dépotage/Empotage	Capacité :	600 EVP
	Superficie :	3500m ²
Zone Extra-Portuaire (à 3 Km du Port)	Capacité :	600 EVP
	Superficie :	3500m ²

TABLE 1.1 – Les caractéristiques du terminal

1.3.3 Équipements :

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.(voir le Tableau 1.2).

Les équipements	Types	Nombre	Tonnage
Grue de Quai	Quai Crane	02	40 Tonnes
Pont roulant sur pneumatiques (RTG)	Rubber type gantry	08	36 Tonnes
Camions remorque routier	Prime movers	24	60 Tonnes
Camions remorque portuaire	Prime movers	16	60 Tonnes
Chariots Élévateurs	Forklifts	12	5, 10, 28 Tonnes
Steacker	Reach Stacker	09	36 Tonnes
Spreader	Empty Container Handler	10	10 Tonnes
MHC (Grue)	Post Panamax	02	100 Tonnes

TABLE 1.2 – Les Équipements de BMT

1.4 Les outils de gestion du terminal :

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

1.4.1 Le CTMS (Container Terminal Management System)

BMT dispose d’un système logiciel 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 tâches telles que :

- Le suivi du processus d’importation et d’exportation ;
- 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 déchargement ;

- La réception des conteneurs à l’exportation ;
- Le suivi des opérations de shifting au niveau du parc à conteneurs ;
- La facturation des clients.

1.4.2 PDS (Position Determining System)

Le PDS (Position Determining System), autrement dit le Système de détection de Positionnement, permet de détecter tous les mouvements du conteneur en fournissant la position des appareils de manutention lorsque le conteneur est manipulé en employant le GPS (Gestion de Position par Satellite).

1.4.3 RDS (Radio Data System)

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

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

Le RDS fonctionne sur la base d’une transmission de données sans fil via les signaux hertziens numériques, opérant à une fréquence déterminée. La transmission sans fil (wireless) maintient une liaison radio bilatérale entre un Terminal mobile au niveau d’un poste de travail (au niveau des parcs à conteneurs ou sur le quai) et le serveur principal sur lequel tourne le CTMS.

Le Terminal mobile est utilisé par les employés des opérations pour collecter et visualiser les données concernant la gestion du parc à conteneurs. Ce Terminal mobile peut être portable, mais il peut aussi être monté sur un portique ou sur tout autre type d’équipement de levage.

L’utilisation de la communication bilatérale signifie que les utilisateurs mobiles (par exemple grue, RTG, portique de levage) ne doivent pas se déplacer pour recevoir des instructions ou transmettre un rapport concernant les opérations. Ils sont donc en mesure d’effectuer leur travail en temps réel beaucoup plus efficacement avec gain de temps.

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

- Mise à disposition des informations actualisées en temps réel ;
- Cadences de chargement et déchargement plus rapides ;
- Temps de réponse plus bref ;
- Meilleure utilisation des ressources humaines et matérielles ;
- Productivité des ressources accrue ;

- Plus grande précision et niveaux de services améliorés ;
- Les conteneurs ne sont plus égarés ;
- Opérations au niveau des aires de stockage sont plus rapides et plus efficaces ;
- Opérations plus rapides au niveau des postes de transbordement ;
- Flexibilité dans la re-programmation des ressources et des tâches.

La mise en place du RDS a été une nécessité afin de réaliser des objectifs en terme de qualité de service, de rapidité, de productivité et d'utilisation rationnelle des ressources.

1.4.4 OCR (Optical Character Recognition)

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

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

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

Avantages :

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

1.5 Organisation de travail :

Les horaires normaux de travail s'étendent du samedi au jeudi inclus de 06h00 à 04h00 en quatre shifts : de 06h00 à 12h00, puis de 12h00 à 18h00, puis de 18h00 à 00h00, puis de 00h00 à 04h00, et pour le vendredi de deux shifts : 06h00 à 12h00, puis de 14h00 à 20h00. R-Q : un arrêt de 15mn entre un shift et un autre est nécessaire pour le changement d'équipe de travail.

1.6 Les Atouts de l'entreprise

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.

1.7 Les procédures de BMT

1.7.1 A l'import

La visite :

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

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

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

La pesée :

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

- Bon de commande (avec visa du service commercial de recouvrement) ;
- Copie de connaissance ;

- Bon à délivrer.

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

La livraison :

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

- Bon à délivrer (apuré par la douane) ;
- Mise à quai en triple exemplaires ;
- Copie de connaissance ;
- Bon de commande (avec précision de la nature de prestation) ;
- Quitus BMT (Container Delivrey Ordre, délivré par la section commerciale).

Par conséquent, l'agent chargé des opérations commerciales devrait conformer le conformité du dossier pour établir le Container Delivrey Ordre et l'enregistrer sur fichier électronique consacré au suivi des livraisons.

Le dépotage :

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

- Bon de commande ;
- Bon à délivrer (apuré par la douane) ;
- Lettre de dépotage (apuré par la douane) ;
- Copie de connaissance avant 16h00 ;
- Quitus BMT (Container Delivrey Ordre, délivré par la section commerciale).

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

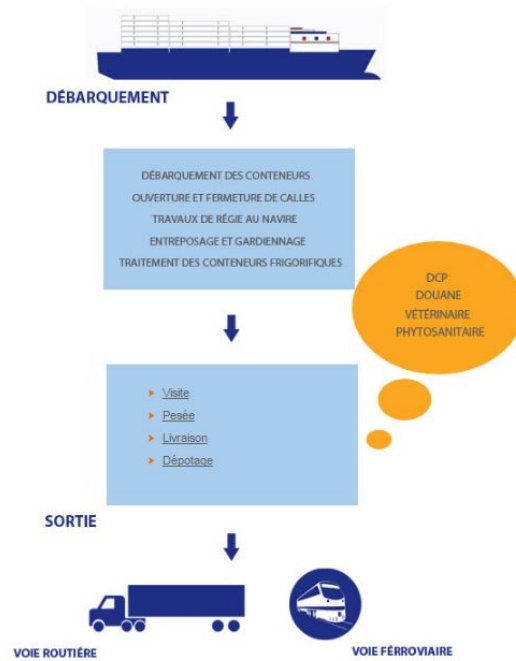


FIGURE 1.9 – Les procédures à l’import

1.7.2 A l’export

La restitution :

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

Suivi des mises à quai

Cette opération est assurée par l’agent responsable des restitutions, qui doit s’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 charger 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.

Mise à disposition :

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

- Demande de mise à disposition du consignataire dûment signée par la douane ;
- Un bon de commande ;
- Lettre d’empotage (en cas d’empotage à quai) dûment signée par la douane ;
- Bon d’embarquement qui nous permettra d’effectuer l’embarquement avec toute régularité.

Empotage :

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

Cas d’empotage à quai : le client doit remettre au service des opérations :

- Lettre d’empotage ;
- Mise à disposition avec la liste des conteneurs à embarquer ;
- Bon de commande.

Cas d’empotage externe : le client doit remettre au service des opérations :

- Bon de commande ;
- Mise à disposition avec la liste des conteneurs vides.



FIGURE 1.10 – Les procédures à l’export

1.8 Objectifs de BMT

BMT a pour objectifs de faire de son terminal à conteneurs une infrastructure moderne à même de répondre aux exigences les plus sévères en matière de qualité dans le traitement du conteneur.

- La mise à disposition d’une nouvelle technologie dans le traitement du conteneur pour :
 1. Un gain de productivité ;
 2. Une réduction des coûts d’escale ;
 3. Une fiabilité de l ’information ;
 4. Un meilleur service clientèle.
- sauvegarder la marchandise des clients ;
- Faire face à la concurrence national et internationale ;
- Propulser le terminal au stade international ;
- Gagner des parts important du marché.
- Augmenter la productivité de la manutention ;
- Développer le transport de bout en bout ;

1.9 Position du problème

Suite au développement économique, les gestionnaires sont plus que jamais conscients de l'apport d'une organisation scientifique du travail, permettant de suivre le même niveau technologique des installations industrielles.

Notre problème s'inscrit dans le cadre d'une évaluation des performances des processus de débarquement et d'embarquement, du terminal à conteneurs de l'entreprise BMT. L'objectif de notre travail est d'établir le modèle adéquat aux systèmes de débarquement et d'embarquement afin de déterminer le nombre optimal de camions remorqueurs à affecter à chaque Grue de quai lors des deux processus. Un autre objectif est de voir l'impact d'augmentation du nombre des RTGs sur le débarquement des portes-conteneurs, et la livraison au clients finaux. Au final notre but est de minimiser les durées d'attente des QCs et des Grues mobiles lors du processus de débarquement et d'embarquement.

La problématique est choisit dans le but de répondre aux atouts de l'entreprise de BMT, qui sont : l'amélioration de la productivité de BMT, offrir une durée de séjour minimal à bord du quai et dans la rade aux compagnies maritimes, et satisfaire le client final en un temps compétitif.

Les files d'attente

Introduction

La théorie des files d'attente est une théorie mathématique relevant du domaine des probabilités, qui étudie les solutions optimales de gestion des files d'attente, ou queues. L'objectif principale de ce chapitre est de donner les éléments de quelques systèmes et réseaux de files d'attente. Ce chapitre comprend deux parties.

Dans la première partie, nous présentons des généralités sur les files d'attente, et dans la deuxième partie nous présentons quelques systèmes de files d'attente Markoviens et non Markoviens. Puis nous terminons par un bref survol sur les réseaux de files d'attente.

2.1 Généralités sur les files d'attente

2.1.1 Définition d'un phénomène d'attente

Le modèle générale d'un phénomène d'attente, appelé aussi système d'attente, peut être résumé comme suit : Des "clients" arrivent à un certain endroit et réclame un certain service. Les instants d'arrivée et les durées de service sont généralement des quantités aléatoires. Si un poste de service est libre, le client qui arrive se dirige immédiatement vers ce poste où il est servi, sinon il prend sa place dans une file d'attente dans la-quelle les clients se rangent suivant l'ordre de leur arrivée.

Un système d'attente comprend donc un espace de service avec une ou plusieurs stations de service montées en parallèle.

2.1.2 Classification des systèmes d'attente

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

- la nature stochastique du processus des arrivées (ou flux d'entrée), qui est défini par la distribution des intervalles séparant deux arrivées consécutives ;
- la distribution du temps aléatoire de service ;
- le nombre s de serveurs (stations de service) qui sont montés 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 $N - s$ unités. Dans ce cas, certains clients arrivant vers le système n'ont pas la possibilité d'y accéder ;

- La source de la populations, qui est soit finie, ou infinie, homogène ou hétérogène.

2.1.3 Notation de Kendall-Lee

Pour identifier une file d'attente, on utilise la notation de Kendall $A/B/s/(K/n/Z)$, où :

- **A** : est la distribution des temps entre deux arrivées successives ;
- **B** : est la distribution des temps de service ;
- **s** : est le nombre de poste de service en parallèle ;
- **K** : est la capacité du système (nombre de serveurs + la longueur maximale de la file) ;
- **n** : est la population des usagés ;
- **Z** : est la discipline de service.
- Si les valeurs $(k/n/Z)$ ne sont pas explicitées, on prend par défaut $(\infty/\infty/FIFO)$. Les disciplines de service peuvent être :
 - **FIFO (First In First Out)** : Le premier arrivé est le premier sorti ;
 - **LIFO (Last In First Out)** : Le dernier arrivé sera le premier sorti ;
 - **FCFS (First Come First Served)** : Le premier arrivé est le premier servi ;
 - **LCFS (Last come First Served)** : le dernier arrivé est le premier servi ;
 - **Random (aléatoire)** : les clients accèdent au serveur de manière aléatoire, indépendamment de l'ordre des arrivées ;
 - **Priorité relative** : Un client accède au service selon sa priorité. La file est gérée par ordre de priorité, de la plus forte à la plus faible ;
 - **Priorité absolue** : Le service d'un client est interrompu lorsqu'un client de priorité supérieur se présente dans la file d'attente. Le client dont ce service est interrompu est remis en tête de la file.

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

- M : loi exponentielle(memoryless) ;
- E : loi d'Erlang ;
- Γ : loi Gamma ;
- D : loi Déterministe (temps d'inter-arrivées ou de service constant) ;
- G : loi Générale (quelconque).

Exemple

La notation $M/D/1/4$ définit donc un système d'attente comprenant une station de service et pour lequel la capacité de la file d'attente vaut $4 - 1 = 3$. Le processus d'arrivée est Poissonien et la durée de service est constante.

2.1.4 Analyse mathématique

L'étude mathématique d'un système d'attente se fait le plus souvent par l'introduction d'un processus stochastique défini de façon appropriée de telle sorte à ce qu'il caractérise l'état du système. Le processus souvent considéré est $\{X(t)\}_{t \geq 0}$: "nombre de clients se trouvant dans le système à l'instant t ". En fonction des quantités qui définissent la structure du système, on cherche à déterminer :

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

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

2.1.5 Quelques caractéristiques d'un système d'attente

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

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

2.2 Modèles Markoviens

Les modèles Markoviens de files d'attente sont des systèmes où les deux quantités stochastiques principales "les temps des inter-arrivées" et "la durée de service" sont des variables aléatoires indépendantes, exponentiellement distribuées. La propriété "sans mémoire" de la loi exponentielle facilite l'analyse de ces modèles [7]. Parmi ces modèles on peut citer :

- $M/M/1$;
- $M/M/s$;
- $M/M/s/k$;
- $M/M/s/k/N$

2.2.1 Le système $M/M/1$

Pour le système d'attente le plus simple $M/M/1$, le flux des arrivées est poissonien, de paramètre λ et la durée de service est exponentielle de paramètre μ . Il y a un seul serveur avec une discipline *FIFO* [8].

1. Régime transitoire

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

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

2. Régime stationnaire

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

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

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

$$\lim_{t \rightarrow \infty} p_n'(t) = 0; \quad n = 1, 2, \dots$$

On obtient alors un système d'équations linéaires et homogènes :

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

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

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

$$p_n = p_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = \left(1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Les caractéristiques de ce système sont données par :

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

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

2.3 Modèles non Markoviens

En s'écartant de l'hypothèse d'exponentialité des deux quantités stochastiques "les temps des inter-arrivées" et "la durée de service", on n'aura plus de processus Markovien. Ce qui rend l'analyse de ce modèle très difficile, voir impossible. Les développements se simplifient parfois pour les files où $s = 1$ [9]. De nombreuses méthodes d'analyse sont cependant disponibles, parmi elles, on citera :

- Méthode des étapes d'Erlang.
- Méthode de la chaîne de Markov induite.
- Méthode des variables auxiliaires.
- Méthode des évènement fictifs.
- Méthode d'approximation.
- Simulation.

2.3.1 Le système M/G/1

Ce système possède un processus d'arrivée de Poisson de paramètre λ et une loi de service quelconque de moyenne $\frac{1}{\mu}$. La propriété de Markov du processus $\{X(t)\}_{t \geq 0}$ (nombre de clients dans le système à l'instant t) facilitant l'analyse du système $M/M/1$ n'est plus vérifiée pour le système $M/G/1$ ce qui rend son analyse plus délicate. Les méthodes d'analyse des systèmes non Markoviens citées précédemment peuvent être utilisées pour l'analyse de ce système [10].

2.3.2 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 G , et les temps de service sont indépendants et identiquement distribués selon une loi exponentielle de paramètre μ .

2.3.3 Le système G/G/1

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

2.4 Les réseaux de files d'attente

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

de clients dans cette dernière catégorie est fixe. Lorsque plusieurs classe de clients sont définies, le réseau est dit mixte s'il est ouvert pour certaines classes, et fermé pour d'autres [11].

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

2.4.1 Les réseaux de Jackson

Il s'agit de systèmes composés de N stations de service et d'une file d'attente de longueur illimitée devant chaque station. Le cheminement d'un client d'une station à une autre est représenté par une chaîne de Markov et aucune distinction n'est faite entre les caractéristiques des clients. Nous admettons dans ce genre de réseaux, des systèmes ouverts (qui reçoivent des clients de l'extérieur selon un processus poissonien de taux λ et qui les envoient vers l'extérieur après le parcours de quelques unes ou l'ensemble de stations) et des systèmes fermés (qui ont un nombre fini constant de clients). Les taux de service à chaque station sont indépendants entre eux, distribués selon des lois exponentielles de paramètres μ_i pouvant dépendre de la longueur des files. Ces modèles possèdent une propriété intéressante d'avoir une distribution stationnaire en forme de produit pour les probabilités conjointes des longueurs des files d'attente. Les clients appartenant tous à la même classe sont acheminés dans le réseau suivant des probabilités de routage p_{ij} , telles que :

$$p_{ij} = P(\text{un client sortant de la station } i \text{ se dirige vers la station } j),$$

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

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

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

Soit n_1, n_2, \dots, n_N le nombre de clients respectivement dans la file 1, 2, ..., N . Le comportement du réseau est totalement définie par les valeurs de $P(n_1, n_2, \dots, n_N, t)$ qui est la probabilité d'être au temps t , dans l'état (n_1, n_2, \dots, n_N) que nous appellerons probabilité jointe, et la probabilité marginale $P(n_i, t)$ d'avoir n_i clients dans la file i au temps t .

Un réseau de file d'attente sera dit en équilibre, s'il existe un état stationnaire.

Théorème 2.4.1 *Un réseau de Jackson ouvert, stable et formé de n files possède une distribution stationnaire unique donnée par :*

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

Ainsi en régime stationnaire, un réseau de Jackson se comporte comme étant des files de type $M/M/m$ isolées recevant leurs clients selon des processus de Poisson indépendants les uns des autres. Une distribution de la forme (2.3) est dite à forme produit et les réseaux associés sont dits **réseaux à forme produit** [12].

2.4.2 Les réseaux BCMP

Les réseaux BCMP (Basket, Chandy, Muntzet, Palacios) sont une extension des réseaux de Jackson. Ils gardent la solution à forme produit à l'état d'équilibre, mais ils autorisent plusieurs classes de clients et des disciplines de service différentes de *FIFO*. Les probabilités de l'acheminement des clients à travers ce type des réseaux sont données par l'intermédiaire d'une chaîne de Markov, de probabilité de transition [13] :

$$P = (P_{ir,jr'}) \quad i = 0, \dots, N \quad \text{et} \quad j = 1, \dots, N + 1; \quad r = 1, \dots, R; \quad r' = 1, \dots, R.$$

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

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

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

2.4.3 Les réseaux avec blocage

Le phénomène de blocage résulte généralement de la limitation de la capacité des files d'attente. Lorsque la file de la K^{ime} phase est pleine, alors le service à la $(K - 1)^{ime}$ phase est bloqué jusqu'à ce qu'une place se libère [14]. Un exemple de ce type de modèle est représenté par la figure 2.1 :



FIGURE 2.1 – Réseau de files d'attente avec blocage.

Dans ce système, il ne peut pas y avoir formation de file d'attente à la seconde phase. Cette disposition des stations entraîne des situations de blocage du premier serveur (Les clients n'ont pas accès au service) même dans le cas où le service du client est terminé et que la file n'est pas vide. Le service reprend dès que le second serveur se libère et le client bloqué accède à la seconde phase.

Conclusion

Actuellement en continuelle progression, la théorie des files d'attente connaît un regain d'intérêt, notamment dans la modélisation des problèmes du transport maritime. Pour notre cas, cette théorie va nous permettre, au chapitre 3, de modéliser les différents mouvements des conteneurs (vides ou pleins) au niveau du terminal, que ce soit lors du débarquement à partir des navires ou, de l'embarquement vers les navires.

Modélisation et ajustement des processus de débarquement et embarquement

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons construire le modèle mathématique qui présentera les principaux mouvements des conteneurs dans le parc à conteneurs de BMT. Nous modéliserons ainsi, les différentes situations de débarquement et embarquement lorsqu'elles surviennent séparément et lorsqu'elles surviennent en parallèle, avec les différentes grues de quai, ainsi que les mouvements des RTGs. L'outil de modélisation auquel on a fait appel est celui des réseaux de files d'attente. Nous présenterons aussi l'identification des différentes lois des processus de débarquement et d'embarquement. Cette identification des lois est faite avec EasyFit5.6, qui est une application de simulation et d'analyse de données permettant d'adapter des distributions de probabilités aux données de l'échantillon, de choisir le meilleur modèle et d'appliquer les résultats d'analyse pour améliorer des décisions.

Dans cette étude, on a pensé à aborder le problème d'une manière à présenter les différents processus qui se font dans le terminal à conteneurs. On a dégagé les deux systèmes :

Le processus de débarquement : Dans ce processus on s'intéressera aux opérations :

1. Débarquement des conteneurs.
2. Le transfert vers la zone de stockage.

Le processus d'embarquement : Dans ce deuxième processus, on prendra en considération les opérations :

1. Transfert des conteneurs vides ou bien destinés à l'exportation vers le quai afin de les embarquer.
2. Embarquement des conteneurs vers le navire.

3.1 Description des principaux mouvements des conteneurs

Le terminal à conteneurs se compose d'une surface où sont empilés et stockés les TCs et des postes à quai où les navires accostent. Les TCs déchargés, transférés, entreposés et livrés à l'aide des moyens de manutention et de transport multiple, comme navires, portiques de quai, RTG,

Steackers, chariots élévateurs, remorque et train. Un porte-conteneurs arrivant au port passe par deux étapes successives, à savoir :

3.1.1 L'étape de mouillage

À l'exception des car-ferries et des porte-conteneurs, tout navire arrivant au port de Béjaia est mis en attente dans la zone de mouillage (rade) pendant une durée qui varie d'un navire à un autre. En raison de l'occupation des postes à quai ou de l'indisponibilité de pilotes ou de remorqueurs, certains navires portes-conteneurs font le mouillage.

3.1.2 L'étape de service

Après le mouillage, vient l'étape d'accostage des navires qui est assuré par les sections opérationnelles de l'EPB, telles que les sections de pilotage et de remorquage.

Traitement du navire

C'est le débarquement des conteneurs. Cela s'effectue avec les deux Quais Crane(QC), (qui ont des chariots pouvant soulever les TCs à partir du porte-conteneurs, et de les mettre directement sur des camions remorqueurs de BMT), et aussi avec les deux Grues mobiles (MHC et LIHBER), (qui ont aussi des chariots pouvant soulever les TCs à partir du porte-conteneurs, et qui nécessitent l'intervention des Steackers pour les mettre sur des camions remorqueurs de BMT). Une fois le débarquement est terminé on inverse les opérations, pour commencer l'embarquement.

Le transfert

Une fois le TC est débarqué sur le camion remorqueur(Mol), il sera transporté vers la zone d'entreposage. Au C.T.M.D (Centre de Transit de Matières Dangereuses) s'il contient des matières dangereuses, à la zone des conteneurs frigorifiques s'il est un reefer. Sinon, au parc plein pour les deux types (20 ou 40 pieds).

Stockage

Les TCs déplacés sont rangés, empilés et entreposés dans le parc à conteneurs pendant une durée de temps qui varie d'un conteneur à un autre, jusqu'à ce que le client dédouane le conteneur et le réclame par la suite.

l'engin utilisé pour ces opérations est le RTG. Le camion se place au dessous de le RTG, puis cette dernière soulève le TCs, pour le mettre dans une place donnée.

NB :

- Un TC peut être déplacé à une autre place, notamment quand un client demande un conteneur qui se trouve dans la première position dans la pile. Donc, on doit shifter les TCs qui se trouvent en dessous (les déplacer à d'autres places).
- Un TC de 40 pieds occupe deux places dans le parc de stockage.

Les livraisons

La livraison concerne les conteneurs pleins ou bien une marchandise dépotée. Les moyens utilisés pour traiter cette opération sont :

- **Pour la livraison directe** : Directement avec une RTG, on charge le conteneur plein sur le camion du client (le camion qui entre jusqu'au parc plein).
- **Pour le dépotage** : D'abord on déplace le TC du parc plein vers la zone du dépotage. Avec un RTG, on le charge sur le camion de BMT avec lequel se fait le déplacement et on le décharge avec un Steacker dans la zone de dépotage. Le dépotage se fait avec des chariots élévateurs si c'est nécessaire. Sinon on affecte un groupe de travailleurs pour le TC pour le décharger manuellement directement sur le camion du client. Après cela on le stocke dans le parc vide.

Restitution des conteneurs

À la restitution des TCs, deux zones sont destinées au stockage des TCs vides, une pour les 20 pieds vides et l'autre pour les TCs de 40 pieds vides.

3.2 Affectation des équipements au niveau de BMT

3.2.1 Décision d'affectation des Grues de Quai

La décision d'affectation des Grues de quai (QCs ou Grues), est liée premièrement à la disponibilité des équipements, deuxièmement au nombre de navires accostés.

3.2.2 Décision d'affectation des Mols

Cette décision varie selon le nombre de navires accosté, car BMT emploie en moyenne 12 Mols par shift de travail. Le nombre de Mols affecté à une grue de quai (QC ou Grue) est 3 en moyenne. Dans le cas d'un seul navire accosté, le nombre de Mols affectés à un seul moyen de débarquement augmente, mais dans le cas de deux navires accostés en plus d'autres arrivages de l'EPB, le nombre de Mols par moyen diminue. Car c'est BMT qui assure le transfert des conteneurs débarqués par L'EPB vers les blocs de stockage.

Au final la décision d'affectation des Mols varie selon la situation qui se présente.

3.2.3 Affectations des RTGs

BMT possède 5 RTGs fonctionnels durant chaque shift de travail, elle emploie un RTG par bloc de stockage des conteneurs pleins. Un bloc de stockage contient les TCs débarqués et ceux destinés à la livraison au client final. Sachant qu'un TC doit passer par le processus visite avant qu'il soit livré.

Les opérations de préparation visite et retour visite se font durant les shifts nuit et double nuits, durant les shifts nuit et double nuits il y a pas de livraison au client final. Au final, on conclut que les RTGs servent trois types de clients, le client final, Mols affectés au débarquement et les Mols affectés à la zone visite (livraison à la zone visite ou retour de la zone visite).

3.2.4 Choix du bloc de débarquement

Durant les shifts de livraison aux clients finaux, la décision du bloc de débarquement est conditionnée par la saturation aux niveaux des blocs de stockage. Une saturation en terme des camions des clients finaux. Ainsi, le bloc le moins saturé sera choisi pour le débarquement. Durant les shifts où il n'y a pas de livraison aux clients finaux, le débarquement se fait sur tous les blocs, le bloc A est préféré car c'est le plus proche du quai, et il rassure la continuité du processus de débarquement.

3.3 Collecte de 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 des processus de débarquement et d'embarquement et d'évaluer leurs performances. Lors de notre collecte des données, nous avons chronométré sur une période de plusieurs jours et à des différents moments de la journée durant les quatre shifts (matin, soir, nuit et double nuit), pour chacune des catégories des données suivantes :

- Concernant le processus de débarquement des conteneurs, nous avons chronométré les durées de service (durée de transfert des conteneurs à bord du navire au quai) des différents moyens de manutention à savoir, les deux Quay Crane (QC) et les deux Grues mobile MHC et LIHBER durant les différents shifts de travail (matin, soir, nuit et double nuits), ainsi que le Steacker qui est monté en série avec chacune des grues mobiles.
- Concernant le processus d'embarquement des conteneurs, nous avons chronométré les durées de service (durée de transfert des conteneurs à bord des Mols au navire) des différents moyens d'embarquement des navires (les deux Quay Crane (QC) et les deux Grues mobile MHC et LIHBER) durant les différents shifts de travail (matin, soir, nuit et double nuit).
- Les durées d'attente des moyens de manutentions (les grues de quai) lors du processus de débarquement (pour cause de manque des Mols pour les QCs et saturation du sol pour les grues mobiles).
- Les durées de rotation des Mols (un échantillon de 4 Mols) depuis leur départ du quai chargé jusqu'à leurs retours au quai vide, (cette rotation comprend la durée de déplacement des Mols aux blocs, le service de déchargement effectué par l'RTG et la durée de retour au quai). On a chronométré ces durées pour les deux quais (1 et 2) durant les différents shifts de travail.
- La durée de service du Steacker ainsi que les durées d'attente des Mols (une durée de service comprend l'enlèvement du conteneur posé sur le sol par la grue et le poser sur le Mol).
- Les durées de service des RTG pour les différents services. Déchargement Mols et de chargement des camions des clients finaux.
- Les durées de rotation des Mols lors du rapprochement du vide depuis la zone de stockage au quai.

3.4 Le processus de débarquement au niveau de BMT

Les opérations de débarquement au niveau de BMT se font sur deux quais, il ya d'autres opérations de débarquement sur d'autres quais, ces opérations sont assurées par les moyens de

l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB). Dans notre cas on s'intéresse aux moyens de manutention de BMT qui sont utilisés seulement au poste 23 (quai 1) dont BMT est prioritaire et poste 24 (quai 2) qui est partagé avec l'entreprise Cevital. Notons que l'entreprise Cevital est prioritaire sur ce quai. Si Cevital n'a pas de navire à accoster BMT l'occupe avec l'accostage d'un porte-conteneurs. Nous allons modéliser les différentes opérations de débarquement et d'embarquement possibles sur les deux quais.

3.4.1 Description du modèle associé au débarquement au quai 1

Les opérations de débarquement au niveau du quai 1 se font avec deux types de grues de quai les grues mobiles (MCH et Lihber) et les deux Quay Cranes (QCs). L'objectif de cette section est de modéliser le processus de débarquement associé à chacune des combinaisons, soit un seul, deux ou trois moyen de manutention au poste 23, Les combinaisons possibles sont (QC), (Grue), (QC, QC), (QC, Grue), (QC, QC, Grue).

1. Débarquement avec un seul moyen de manutention

Deux cas sont possibles dans cette partie : soit débarquement avec QC ou bien Grue.

– Débarquement avec un QC

Le processus de débarquement avec le QC, peut être décrit par un modèle de file d'attente avec un seul serveur, une file d'attente avec une capacité limitée à 6 clients, et une source finie de Mols (camions remorque) comme étant des clients. Ces derniers, seront servis selon leur ordre d'arrivée.

On suppose qu'un camion ne doit pas être servi que si le QC lui pose un TC sur sa remorque, donc le nombre de conteneurs traités est équivalent au nombre total des camions servis.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.1.

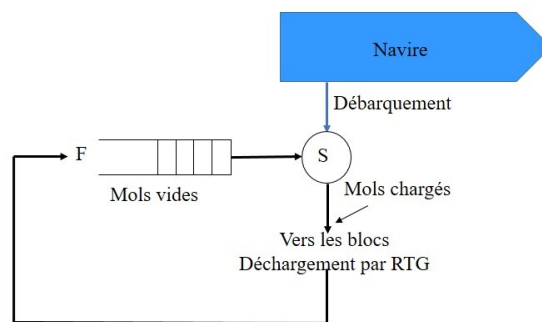


FIGURE 3.1 – Débarquement avec un seul QC

F : Une file d'attente des camions ;

S : Serveur Quay Crane qui décharge les conteneurs du navire et les dépose sur les camions.

– **Débarquement avec une Grue :**

Le processus de débarquement avec une Grue mobile portuaire (MHC ou Lihber), peut être décrit par un modèle de file d'attente avec deux serveurs en série, une file d'attente avec une capacité limitée à 6 clients, et une source finie des camions remorqueurs comme étant des clients. Ces derniers seront servis selon leur ordre d'arrivée.

On suppose qu'un camion ne doit être servi que si le Steacker lui pose un conteneur sur sa remorque, donc le nombre de conteneurs traités est équivalent au nombre des camions servis.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.2.

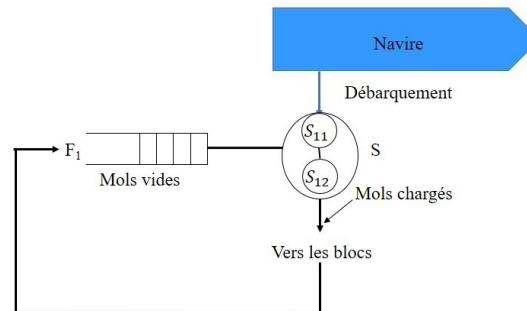


FIGURE 3.2 – Débarquement avec une seule

- F : Une file d'attente des camions ;
- S : Serveur composé de deux sous services (S_{11} et S_{12}) ;
- S_{11} : Serveur grue mobile portuaire qui décharge les TCs du navire ;
- S_{12} : Serveur steacker qui charge les TCs sur les Mols .

2. Débarquement avec deux moyens de manutention

– **Débarquement avec deux Quay Cranes**

Le processus de débarquement avec deux QCs, peut être décrit par deux files d'attente avec deux serveurs. Une file d'attente à capacité limitée à 6 clients, et une source finie de Mols devant chaque serveur (QC), aucun serveur n'intervient dans le service des clients de l'autre.

le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.3.

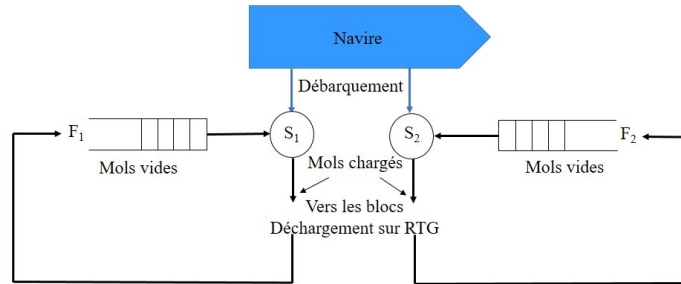


FIGURE 3.3 – Débarquement avec deux QCs

- F_1 : Une file d’attente des camions du QC_1 .
 - F_2 : Une file d’attente des canions du QC_2 .
 - S_1 : Serveur Quay Crane1 qui débarque les TCs du navire et les dépose sur les Mols.
 - S_2 : Serveur Quay Crane2 qui débarque les TCs du navire et les dépose sur les Mols.
- **Débarquement avec QC et Grue**

Le processus de débarquement avec QC et grue, peut être décrit par un modèle de file d’attente avec 3 serveurs, le premier serveur étant le QC qui serve ses propres camions(Mols), les deux autres serveurs sont en série (la grue et le Steacker), qui servent les clients (Mols) destinés à ce système. Dans les deux cas les files d’attente sont limitées à 6 clients et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.4.

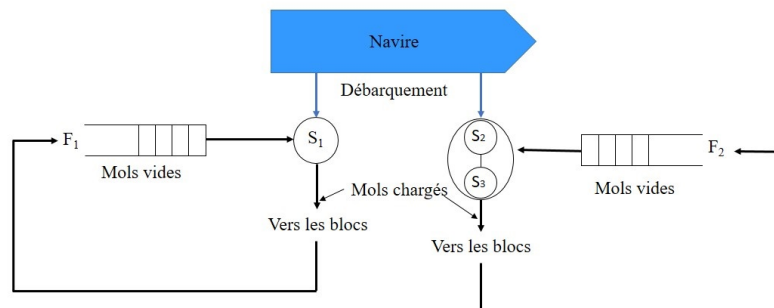


FIGURE 3.4 – Débarquement avec QC et Grue

- F_1 : Une file d’attente des camions du QC .
- F_2 : Une file d’attente des canions de la Grue.
- S_1 : Serveur Quay Crane qui débarque les TCs du navire et les dépose sur les Mols.
- S_2 : Serveur Grue qui débarque les TCs du navire au sol (quai).
- S_3 : Serveur steacker qui charge les TCs sur les Mols.

3. Débarquement avec trois moyens de manutention

L'opération de débarquement avec trois moyens de manutention est conditionnée par deux conditions, la première est la disponibilité des trois équipements, quant à la seconde c'est la longueur du navire car les équipements ont besoin d'un espace entre eux pour effectuer le débarquement, on peut aussi ajouter la disponibilité des Mols, car s'il y a un autre navire qui débarque au poste 24 (quai 2), et un autre qui débarque sur l'un des postes de l'EPB, alors les Mols ne peuvent pas être répartis sur toutes les grues de quai.

– Débarquement avec deux QCs et une Grue

Le processus de débarquement avec trois moyens de manutention (deux QCs et Grue), peut être décrit par un modèle de file d'attente avec 4 serveurs, le premier serveur étant le QC1 qui serve ses propres Mols, le deuxième étant le QC2 qui serve ses propres Mols. Le troisième et le quatrième serveur sont la Grue et le Steacker qui sont montés en série, qui serve leurs Mols. Dans chaque situation la file d'attente est limitée à 6 clients, et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.5.

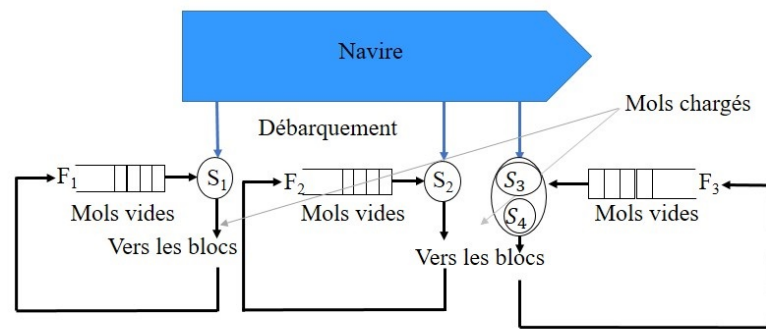


FIGURE 3.5 – Débarquement avec deux QCs et une Grue

- F_1 : Une file d'attente des camions du QC_1 .
- F_2 : Une file d'attente des canions du QC_2 .
- F_3 : Une file d'attente des camions de la Grue
- S_1 : Serveur Quay Crane1 qui débarque les TCs du navire et les dépose sur les Mols.
- S_2 : Serveur Quay Crane2 qui débarque les TCs du navire et les dépose sur les Mols.
- S_3 : Serveur Grue qui débarque les TCs sur le sol (quai).
- S_4 : Serveur steacker qui charge les TCs débarqué par la grue sur les Mols.

3.4.2 Description du modèle associé au débarquement au quai 2

Les opérations de débarquement au niveau du quai 2 se font avec les Grues mobiles seulement, car les QCs ne peuvent pas se déplacer au poste 24 (quai 2), à cause de leurs voies ferrées qui se limitent au poste 23 (quai 1). Les combinaisons possibles des grues de quai portuaire au poste 24 sont Grue/(Grue Lihb, Grue MHC).

1. Débarquement avec un seul moyen de manutention

– Débarquement avec une Grue mobile portuaire

Le processus de débarquement avec une Grue mobile portuaire (MHC ou Lihber), est le même représenté dans la section précédente (voir figure 3.2).

– Débarquement avec deux moyens de manutention

Cette situation ne se présente que si la deuxième Grue n'est pas en service au quai 1 (poste 23), et que la longueur du bateau est suffisamment grande pour que les deux grues puissent fonctionner en parallèle.

— Débarquement avec deux Grues

Le processus de débarquement avec deux Grues peut être décrit par un modèle de file d'attente avec deux systèmes, chaque système se compose de deux serveurs en série, et chaque système a une file d'attente de camions (Mols) à capacité limitée. Ces derniers seront servis selon leur ordre d'arrivée. La taille de la file se limite à 6 clients, et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.6.

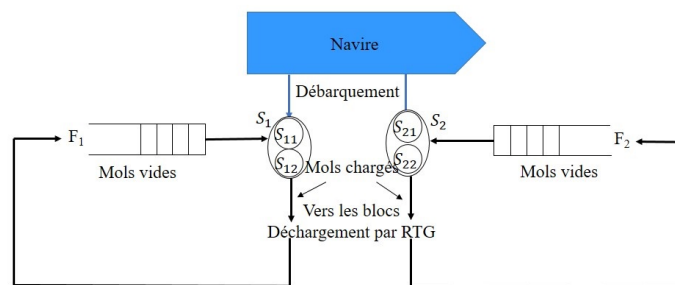


FIGURE 3.6 – Débarquement avec deux Grues

- F_1 : Une file d'attente de Mols dans le premier système ;
- F_2 : Une file d'attente des Mols dans le deuxième système ;
- S_1 : Serveur composé de deux sous services (S_{11} et S_{12}) ;
- S_2 : Serveur composé de deux sous services (S_{21} et S_{22}) ;

- S_{11} : Serveur avec grue mobile portuaire (MHC) qui décharge les TCs du navire au sol (quai) ;
- S_{12} : Serveur steacker qui charge les TCs débarqué par la grue (MHC) sur les Mols.
- S_{21} : Serveur avec grue mobile portuaire (Lihber) qui décharge les TCs du navire au sol (quai) ;
- S_{22} : Serveur steacker qui charge les TCs débarqué par la grue (Lihber) sur les Mols.

3.4.3 Service du Steacker

Le Steacker intervient dans le processus de débarquement avec une Grue mobile portuaire, la Grue débarque les TCs sur le sol (quai) et le Steacker charge les TCs débarqués sur les Mols, alors les deux serveurs Grue et Steacker sont monté en série.

3.4.4 Service des Mols

Les Mols sont les camions remorques, ils interviennent dans le processus de débarquement soit avec les QCs ou les Grues mobiles. Une fois un Mol est servi par l'un des QCs ou bien par un Steacker qui est affecté a l'une des Grues mobile, sachant qu'un Mol est servi si seulement si on lui charge un conteneur, le Mol livre le conteneur vers l'un des blocs de la zone de stockage.

3.4.5 Service des RTGs

Les RTGs interviennent dans le processus de débarquement indirectement. Le service de l'RTG est de décharger les conteneurs des Mols chargés et les poser dans une position sur l'un des blocs de stockage des conteneurs pleins. Le deuxième service des RTGs est le chargement des camions des clients finaux.

Un seul RTG est affecté à un bloc de stockage, alors 5 RTGs sont fonctionnels durant les opérations de manutention au niveau du terminal à conteneurs de BMT.

3.4.6 Modèle final associé au processus de débarquement

Nous avons choisis de présenter un modèle qui correspond à l'une des situations réelles qui peuvent se présenter. Le modèle représenté dans la figure 3.7 est celui du débarquement avec QC et Grue mobile :

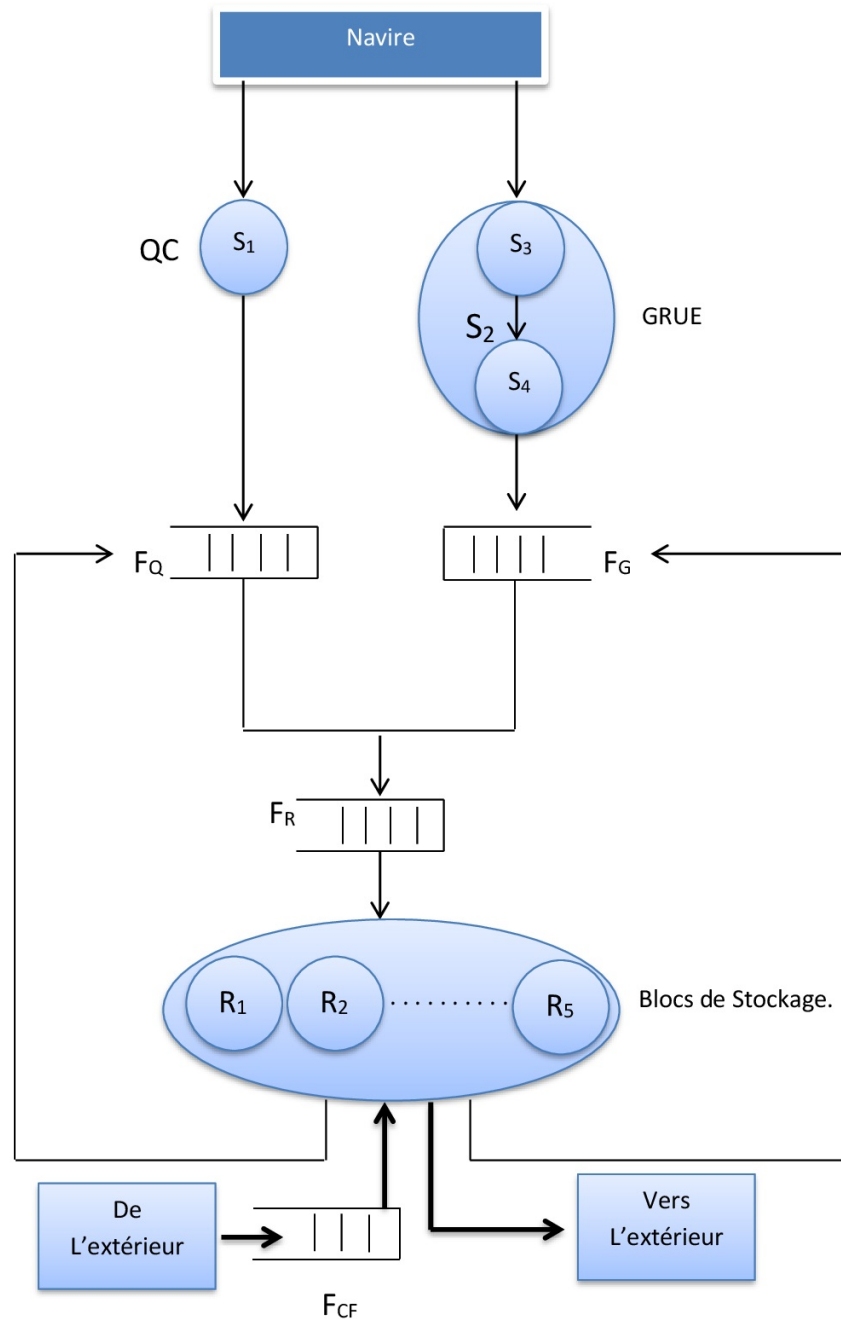


FIGURE 3.7 – Modèle général de l'une des situation de débarquement.

Description des composants du modèle

- **Les serveurs**

Notre modèle est composé des serveurs suivants :

- S_1 : serveur QC qui traite un camion en prenant un TC d'un navire et le dépose sur sa remorque ;
- S_2 : composé de deux serveurs :
 - S_3 : la grue mobile qui prend un TC du navire et le dépose au sol ;
 - S_4 : le Steacker qui dépose sur le camion le TC que la grue avait débarqué ;
- $R_1...R_5$: les RTGs qui déchargent le TC du camion et le déposent dans sa position ou bien qui chargent les camions des clients finaux venant de l'extérieur.

- **Les files d'attente correspondantes**

- F_Q : C'est la file d'attente des clients (Mols) devant le QC.
- F_G : C'est la file d'attente des clients (Mols) devant la grue mobile.
- F_R : C'est la file d'attente des clients (Mols) devant les RTGs.
- F_{CF} : C'est la file d'attente des clients finaux devant les RTGs.

3.5 Identification des différentes lois gouvernant le processus de débarquement

3.5.1 Débarquement avec QC1

Le modèle mathématique associé est présenté dans la section précédente (voir la figure 3.1).

Identification des lois des processus intervenants

- **Loi de service du QC1**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de services du QC1 lors du processus de débarquement".

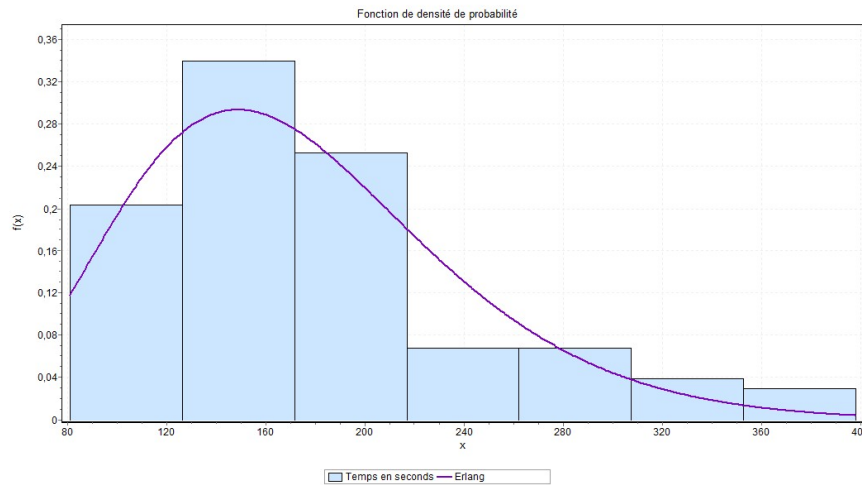


FIGURE 3.8 – Histogramme des durées de service du QC1 lors du processus de débarquement

Pour un échantillon de taille $N = 103$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{103} = 0.13381$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.1 :

Lois	Erlang (m, β)	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(7 , 24.804)	(7.2757 , 24.804)	(197.99 , 3.4961)	(66.905 , 180.47)	0.00554
Statistique	0.10712	0.11362	0.14854	0.16297	0.40483
Décision	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.1 – Ajustement de la loi des durées de service du QC1 lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.8 et le tableau 3.1, on constate que la loi Erlang est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durée de service du QC1 lors du processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.9 illustre et confirme l'ajustement par la loi Erlang.

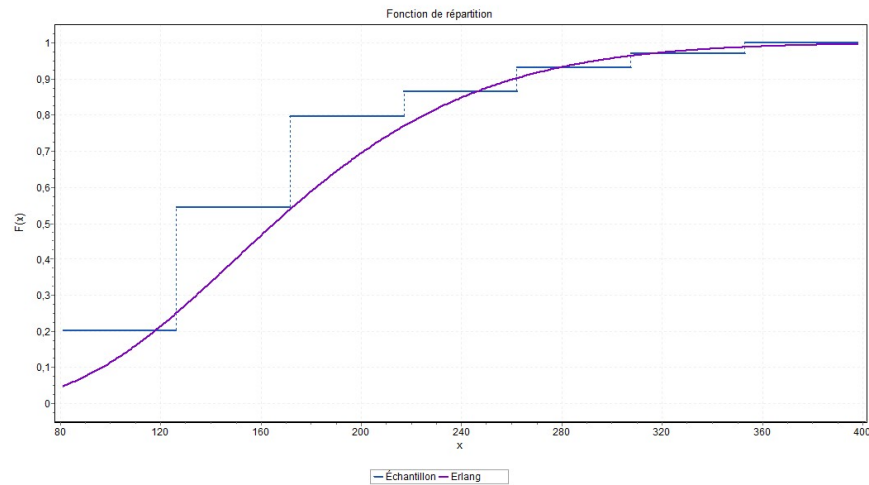


FIGURE 3.9 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service du QC1 lors du processus de débarquement

– **Loi de service des Mols lors du processus de débarquement avec le QC1**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec QC1". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe le Mol du quai 1 au bloc de stockage.
- La durée de service du RTG.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.
- la durée d'attente pour être servie pendant la quelle le RTG s'occupent du service d'un autre mol ou du service d'un client final ;

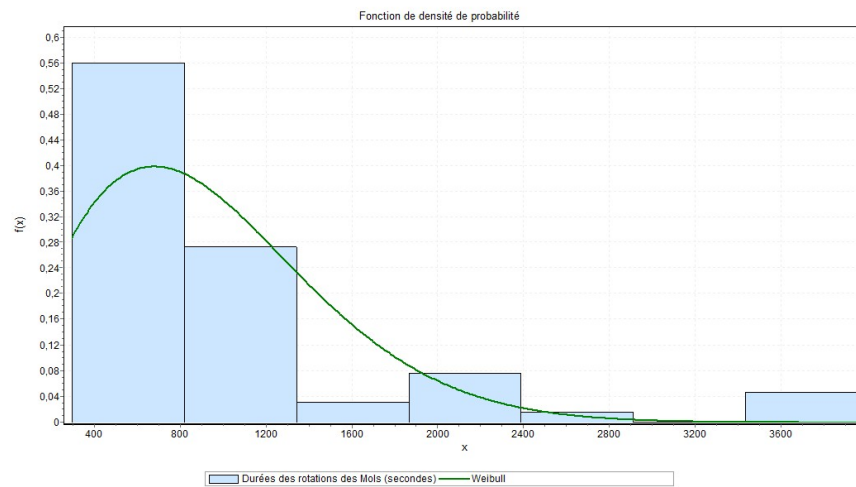


FIGURE 3.10 – Histogramme des durées de rotation des Mols

Pour un échantillon de taille $N = 66$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du

test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est de $D_{66} = 0.16443$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.2 :

Lois	Weibull (α, β)	Gamma (α, β)	Normal (δ, μ)	Exp (λ)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(1060.4, 1.8064)	(1.5444 , 646.3)	(803.18 , 998.14)	0.001	(1 , 646.3)
Statistique	0.16161	0.20058	0.22658	0.28974	0.41852
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.2 – Ajustement de la loi des durées de rotation des mols lors du processus de débarquement avec QC1

• **Résultat**

D'après la figure 3.10 et le tableau 3.2, on constate que la loi de Weibull est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durée de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec QC1". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.11 illustre et confirme l'ajustement par la loi de Weibull.

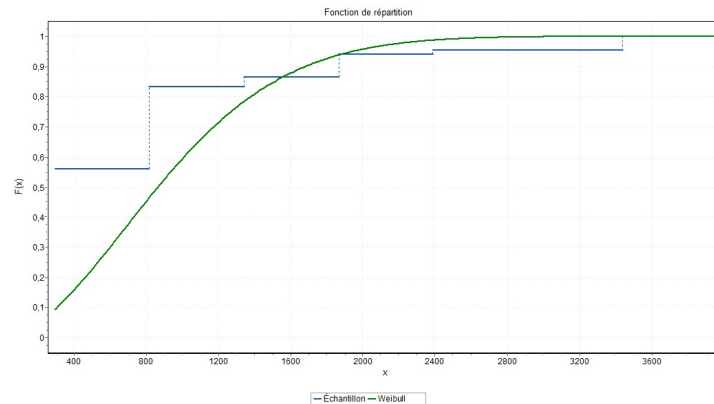


FIGURE 3.11 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du processus de débarquement avec le QC1

– **Loi d'attente du QC1 lors du processus de débarquement**

Soit X la variable aléatoire : durée d'attente du QC1 lors du processus de débarquement".

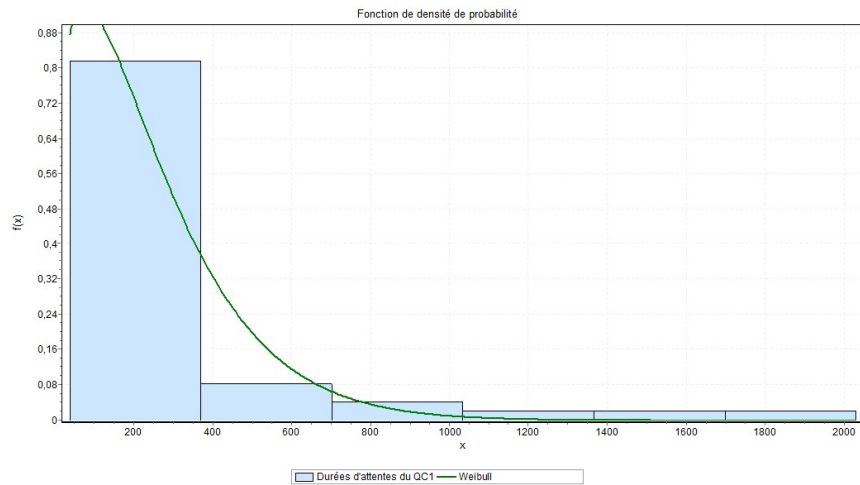


FIGURE 3.12 – Histogramme des durées d’attente du QC1 lors du processus de débarquement

Pour un échantillon de taille $N = 50$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{50} = 0.19028$. L’ajustement est représenté dans le Tableau 3.3 :

Lois	Weibull (α, β)	Exp (λ)	Gamma (α, β)	Normal (δ, μ)
Para- mètres (secondes)	(262.91, 1.2676)	0.00337	(0.54039 , 549.14)	(403.77 , 296.26)
Statistique	0.18697	0.20364	0.26643	0.29873
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.3 – Ajustement de la loi des durées d’attente du QC1 lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D’après la figure 3.12 et le tableau 3.3, on constate que la loi de Weibull est la loi qui ajuste le mieux l’échantillon "durée d’attente du QC1 lors du processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.13 illustre et confirme l’ajustement par la loi de Weibull.

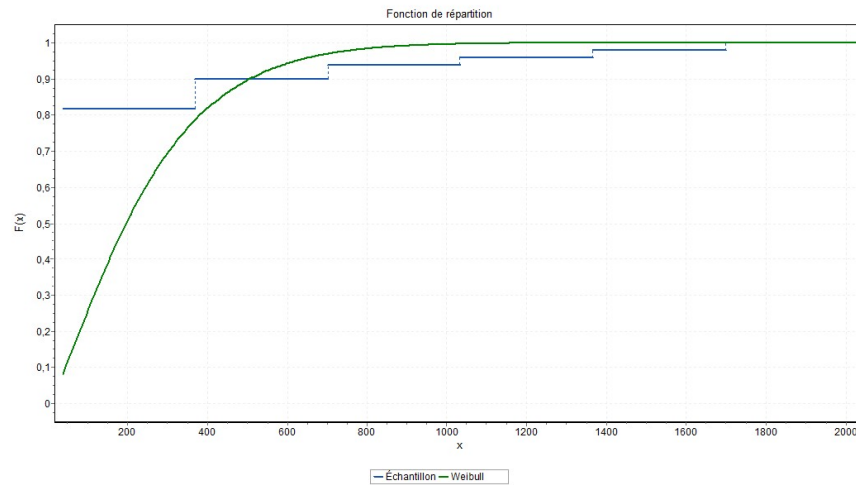


FIGURE 3.13 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées d’attente du QC1 lors du processus de débarquement.

3.5.2 Débarquement avec QC2

le modèle mathématique est déjà présenté dans la section précédente par la figure 3.1.

Identification des lois des processus intervenants

– Loi de service du QC2 :

Soit X la variable aléatoire : "Durée de services du QC2 au débarquement".

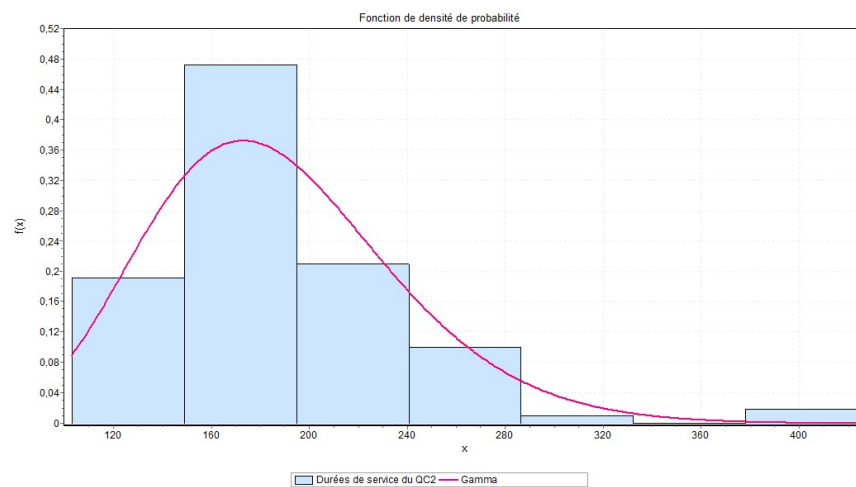


FIGURE 3.14 – Histogramme des durées de service du QC2 lors du processus.

Pour un échantillon de taille $N = 109$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{109} = 0.12948$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.4 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normal (δ, μ)	Erlang (m, β)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(13.551 , 13.784)	(201.04 , 4.9344)	(13 , 13.784)	(50.74 , 186.78)	0.00555
Statistique	0.08735	0.11437	0.1202	0.12268	0.4444
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.4 – Ajustement de la loi des durées de service du QC2 lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.14 et le tableau 3.4, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durée de service du QC2 lors du processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.15 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

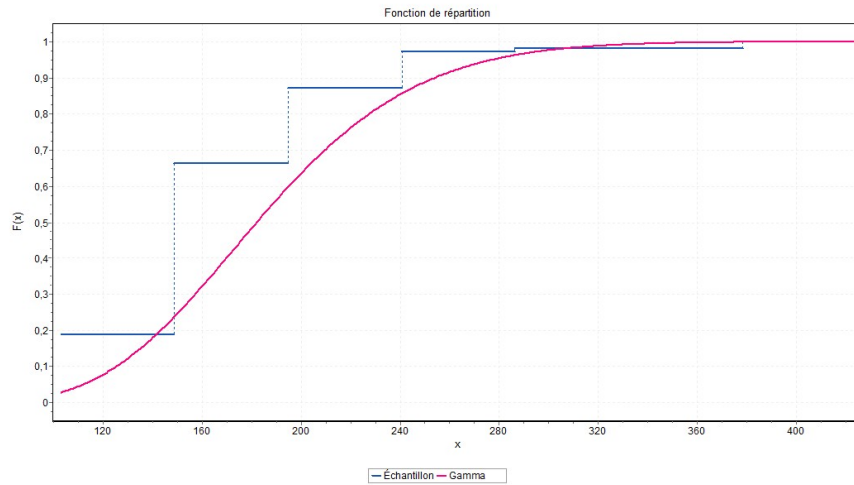


FIGURE 3.15 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service du QC2 lors du processus de débarquement.

– **Loi de service des Mols lors du processus de débarquement avec le QC2**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec le QC2". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe le Mol du quai 1 au bloc de stockage.
- La durée de service du RTG.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.

- la durée d’attente pour être servi pendant la quelle le RTG s’occupent du service d’un autre mol ou du service d’un client final ;

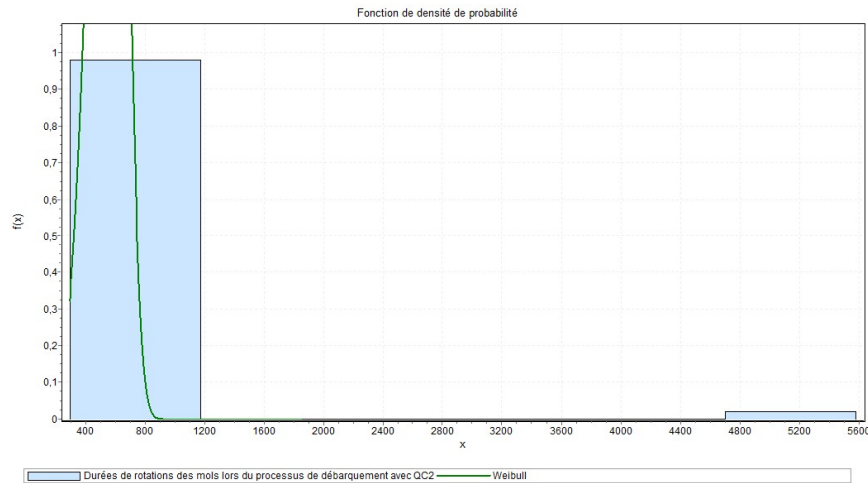


FIGURE 3.16 – Histogramme des durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement avec le QC2.

Pour un échantillon de taille $N = 53$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{53} = 0.18311$. L’ajustement est représenté dans le Tableau 3.5 :

Lois	Weibull (α, β)	Normal (δ, μ)	Exp (λ)	Gamma (α, β)
Para- mètres (secondes)	(586.44, 5.6998)	(699.68 , 638.22)	0.00157	(0.832 , 767.07)
Statistique	0.06845	0.40612	0.41523	0.44467
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.5 – Ajustement de la loi des durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement avec QC2

• **Résultat**

D’après la figure 3.16 et le tableau 3.5, on constate que la loi de Weibull est la loi qui ajuste le mieux l’échantillon "Durée de rotation des mols lors du débarquement avec le QC2". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.17 illustre et confirme l’ajustement par la loi de Weibull.

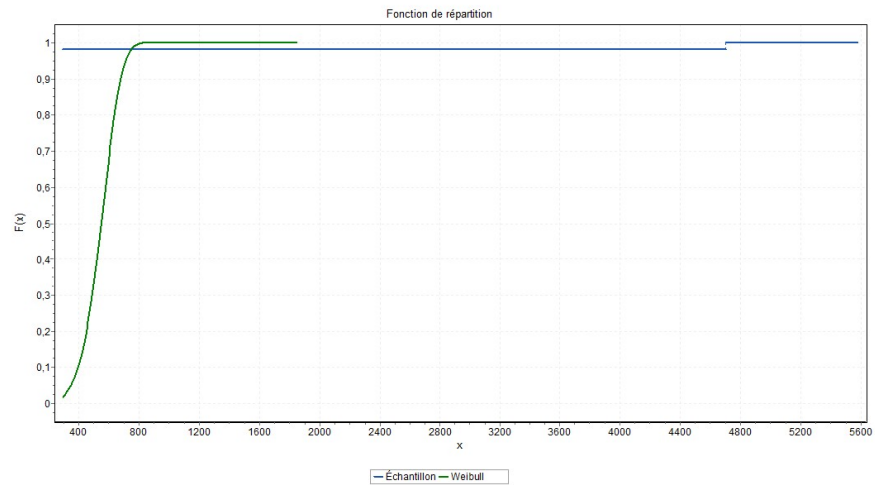


FIGURE 3.17 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du débarquement avec QC2.

– **Loi d'attente du QC2 lors du processus de débarquement**

Soit X la variable aléatoire : durée d'attente du QC2 lors du processus de débarquement".

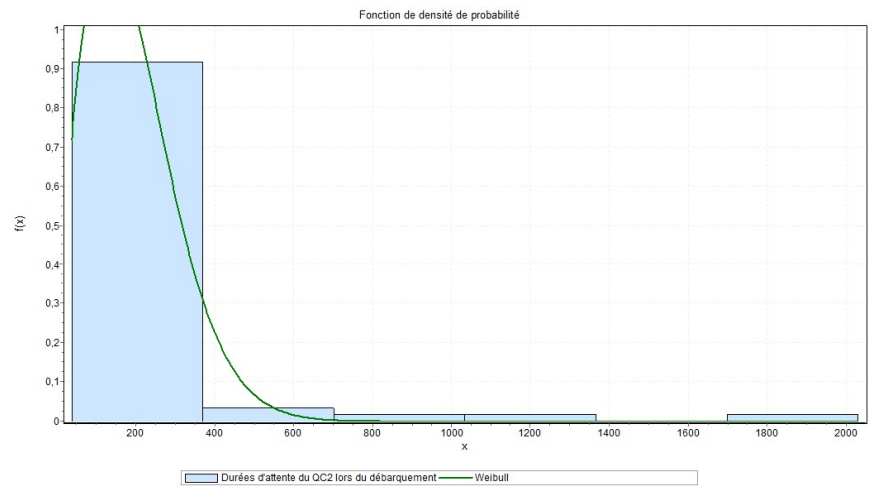


FIGURE 3.18 – Histogramme des durées d'attente du QC2 lors du processus de débarquement.

Pour un échantillon de taille $N = 61$, à un niveau signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{61} = 0.17091$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.6 :

Lois	Weibull (α, β)	Normal (δ, μ)	Gamma (α, β)
Para- mètres (secondes)	(215.33, 1.7287)	(299.27 , 228.48)	(0.58286 , 391.99)
Statistique	0.14861	0.3046	0.33895
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.6 – Ajustement de la loi des durées d’attente du QC2 lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D’après la figure 3.18 et le tableau 3.6, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l’échantillon "Durées d’attente du QC2 lors du processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.19 illustre et confirme l’ajustement par la loi Weibull.

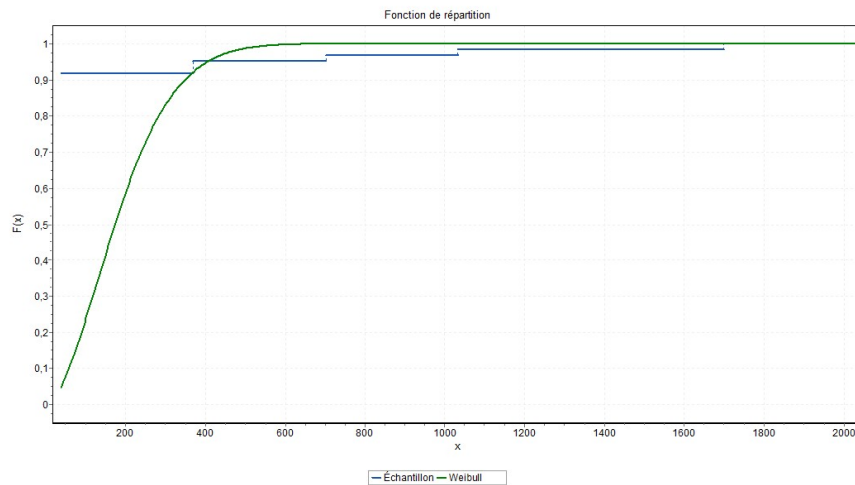


FIGURE 3.19 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées d’attente du QC2 lors du processus de débarquement.

3.5.3 Débarquement avec la Grue Lihber

Le modèle mathématique est déjà présenté dans la section précédente par la figure 3.2.

Identification des processus intervenants

– Loi de service de la Grue Lihber

Soit X la variable aléatoire : " Durée de services de la Grue Lihber au débarquement".

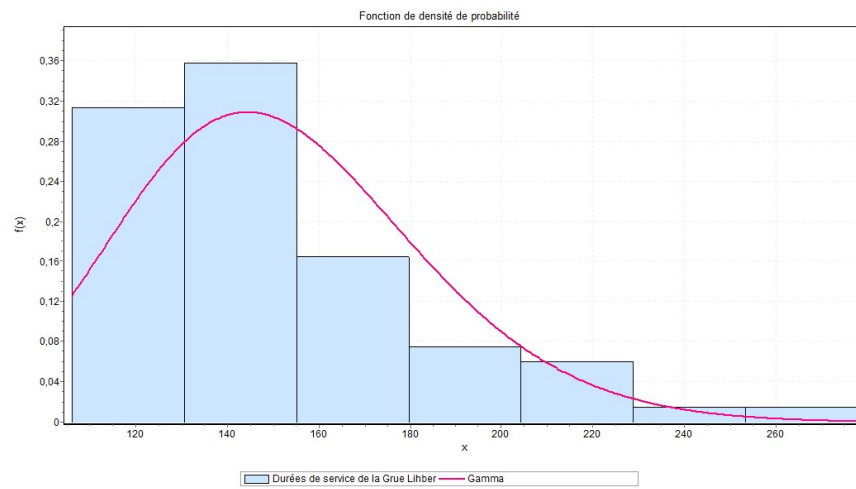


FIGURE 3.20 – Histogramme des durées de service de la Grue Lihber au débarquement.

Pour un échantillon de taille $N = 67$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{67} = 0.16322$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.7 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normal (δ, μ)	Erlang (m, β)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(21.867 , 6.9225)	(161, 6.1012)	(32.371 , 151.37)	(21 , 6.9225)	0.00661
Statistique	0.12051	0.13976	0.14466	0.17357	0.50791
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.7 – Ajustement de la loi des durées de service de la Grue Lihber au débarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.20 et le tableau 3.7, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de service de la Grue Lihber au débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.21 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

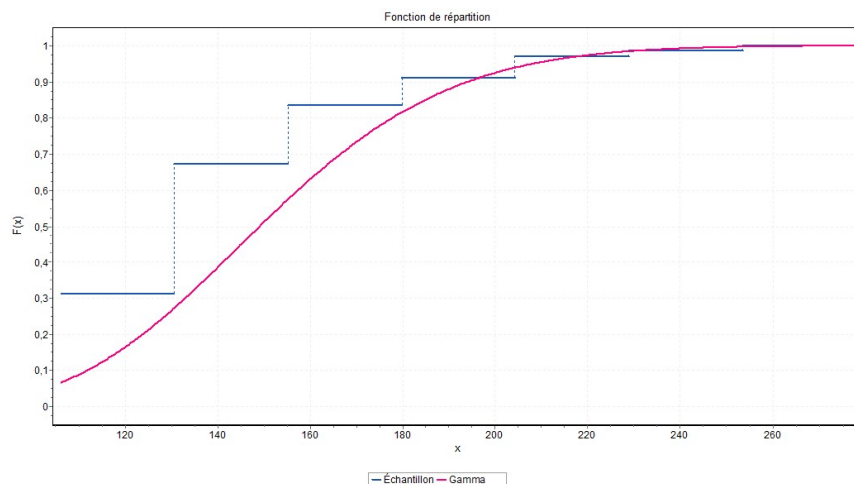


FIGURE 3.21 – Comparaison des fonctions théorique et empirique des durées de service de la Grue Lihber au débarquement.

– **Loi de service du Steacker au débarquement avec la Grue Lihber**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de service du Steacker".

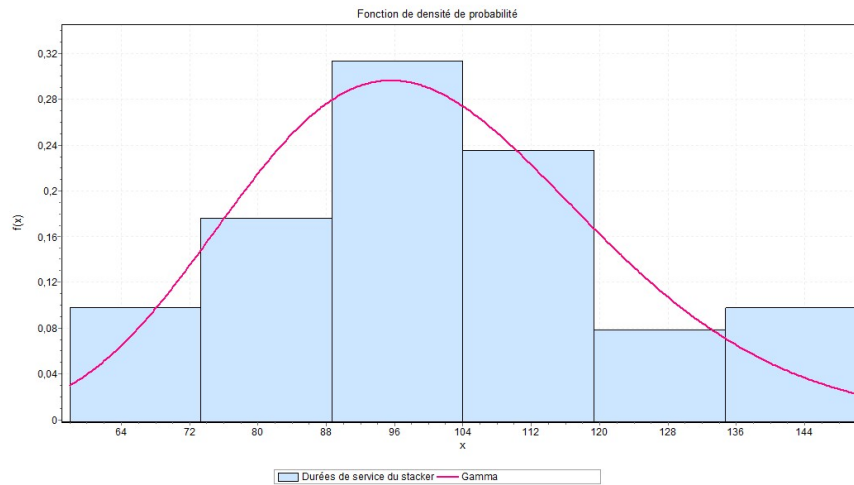


FIGURE 3.22 – Histogramme des durées de service du Steacker

Pour un échantillon de taille $N = 51$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{51} = 0.18659$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.8 :

Lois	Gamma (α, β)	Normal (δ, μ)	Weibull (α, β)	Erlang (m, β)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(22.584 , 4.428)	(100, 21.043)	(5.6129 , 106.96)	(22 , 4.428)	0.001
Statistique	0.06669	0.07953	0.07995	0.1111	0.4642
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.8 – Ajustement de la loi des durées de service du Steacker

• **Résultat**

D'après la figure 3.22 et le tableau 3.8, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de service du Steacker". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.2 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

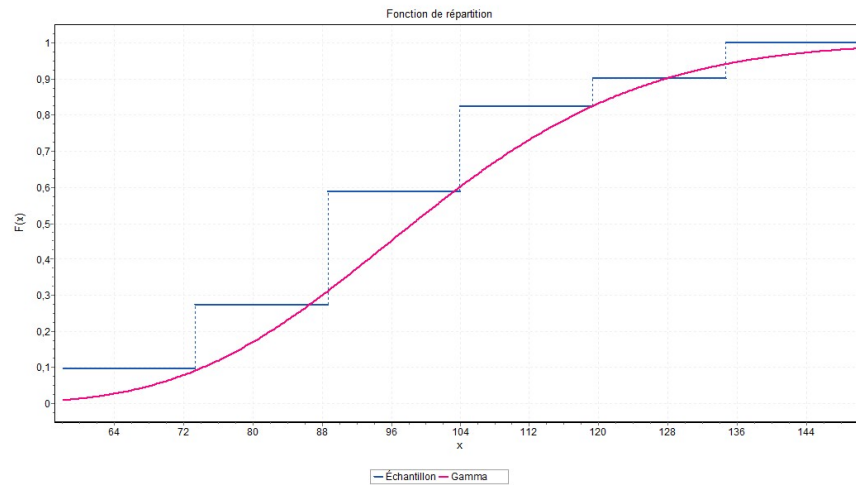


FIGURE 3.23 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service du Steacker

– **Loi de service des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de rotations des Mols". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe le Mol du quai 1 au bloc de stockage.
- La durée de service du RTG.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.
- la durée d'attente pour être servi pendant la quelle la RTG s'occupent du service d'un autre mol ou du service d'un client final ;

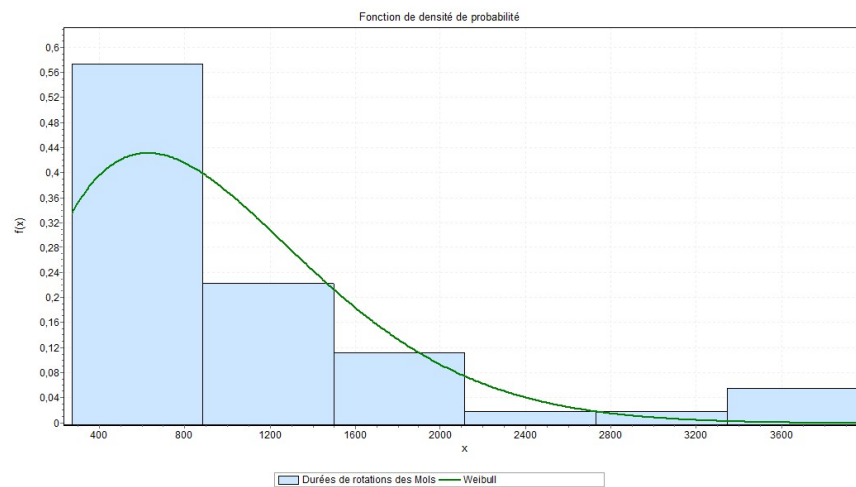


FIGURE 3.24 – Histogramme des durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber

Pour un échantillon de taille $N = 54$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{54} = 0.18144$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.9 :

Lois	Weibull (α, β)	Gamma (α, β)	Normal (δ, μ)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(1100.8, 1.6532)	(1.4391 , 729.73)	(875.39 , 1050.1)	(1 , 729.73)
Statistique	0.172	0.17568	0.21249	0.35442
Décision	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.9 – Ajustement de la loi des durées de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber

• **Résultat**

D'après la figure 3.24 et le tableau 3.9, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de rotations des mols lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltés sur le terrain. La figure 3.25 illustre et confirme l'ajustement par la loi Weibull.

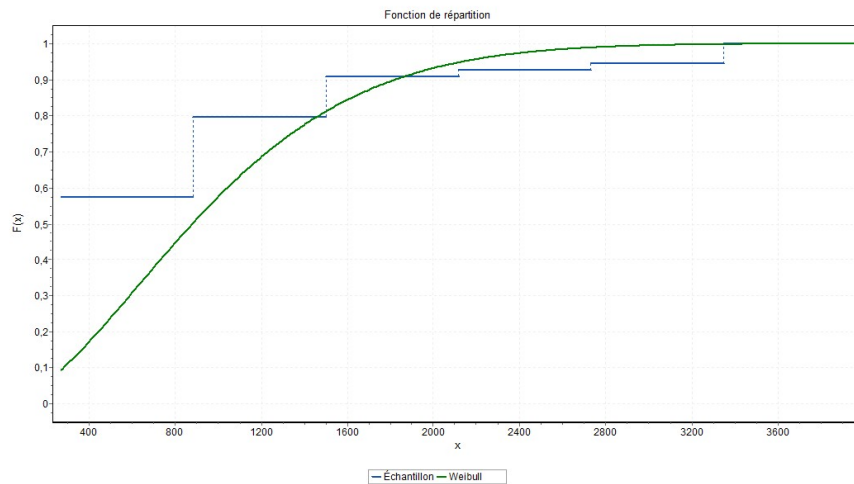


FIGURE 3.25 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi des durées de rotations des Mols

– **Loi de la durée d'attente de la Grue Lihber lors du processus de débarquement**

Soit X la variable aléatoire : "Durée d'attente de la Grue Lihber lors du processus de débarquement".

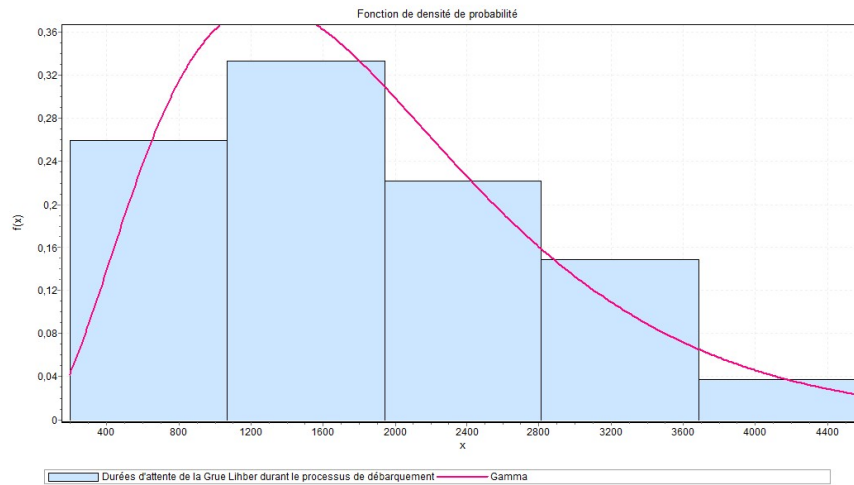


FIGURE 3.26 – Histogramme des durées d’attente de la Grue Lihber lors du processus de débarquement

Pour un échantillon $N = 27$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{27} = 0.25438$.

L’ajustement est représenté dans le Tableau 3.10 :

Lois	Gamma (α, β)	Normale (σ, μ)	Weibull (α, β)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(3.1392 , 596.6)	(1872.8, 1057)	(1.5894 , 2058.9)	(3 , 596.6)
Statistique	0.10931	0.11629	0.12561	0.14269
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée

TABLE 3.10 – Ajustement de la loi des durées d’attente de la Grue Lihber lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D’après la figure 3.26 et le tableau 3.10, on constate que la loi Gamma qui ajuste le mieux l’échantillon "durées d’attente de la Grue Lihber lors su processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.27 illustre et confirme l’ajustement par la loi Gamma.

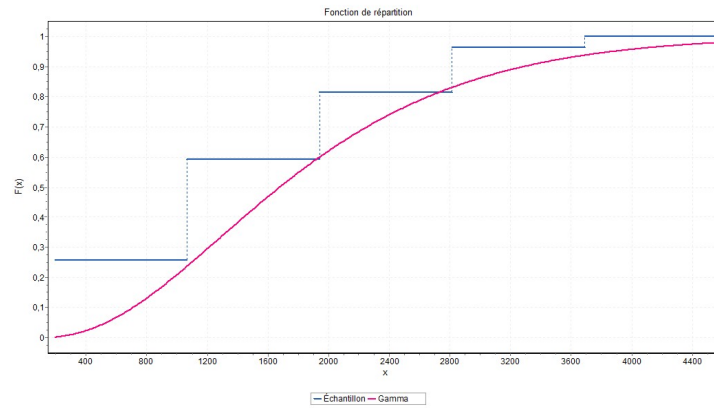


FIGURE 3.27 – Comparaison des fonction de répartition théorique et empirique des durées d’attente de la Grue Lihber

– **Loi de la durée d’attente du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber**

Soit X la variable aléatoire : "Durée d’attente du Steacker lors du débarquement avec la Grue Lihber".

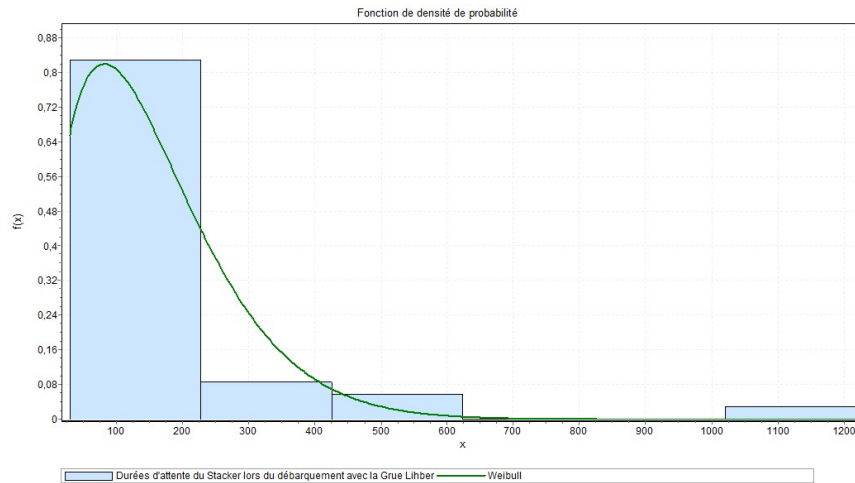


FIGURE 3.28 – Histogramme des durées d’attente du Steacker

Pour un échantillon de taille $N = 35$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{35} = 0.22425$.

L’ajustement est représenté dans le Tableau 3.11 :

Lois	Weibull (α, β)	Exp (λ)	Gamma (α, β)	Normale (σ, μ)
Para- mètres (secondes)	(179.41 , 1.4678)	0.00519	(0.77557 , 248.48)	(218.83 , 192.71)
Statistique	0.11224	0.16489	0.1991	0.2979
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.11 – Ajustement de la loi des durées d’attente du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber.

• **Résultat**

D’après la figure 3.28 et le tableau 3.11, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l’échantillon "Durées d’attente du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue Lihber". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.29 illustre et confirme l’ajustement par la loi Weibull.

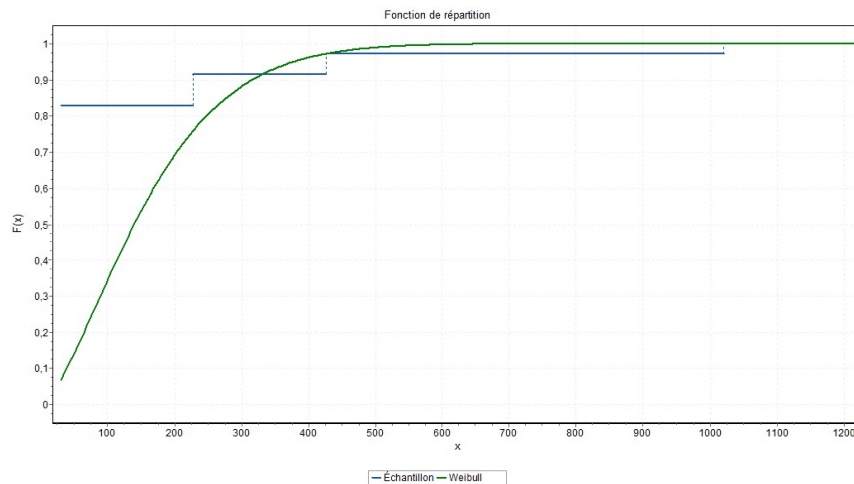


FIGURE 3.29 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées d’attente du Steacker

3.5.4 Débarquement avec la Grue mobile MHC

Identification des lois des processus intervenants

– Loi de service de la Grue MHC

Soit X la variable aléatoire : "Durée de service de la Grue MHC au débarquement".

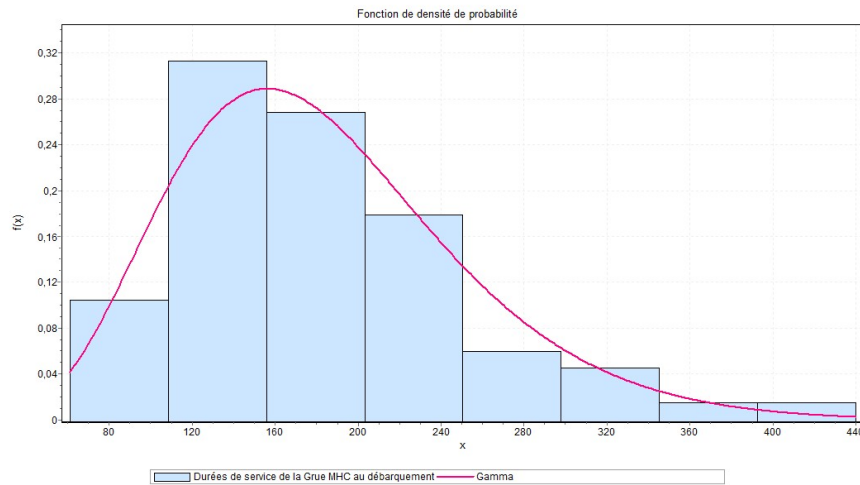


FIGURE 3.30 – Histogramme des durées de service de la Grue MHC

Pour un échantillon de taille $N = 134$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{134} = 0.11731$. L'ajustement est donné par le Tableau 3.12 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Erlang (m, β)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(6.8714 , 26.629)	(201.2, 3.3593)	(69.803 , 182.98)	(6 , 26.629)	0.00547
Statistique	0.06069	0.08645	0.10891	0.14492	0.38585
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.12 – Ajustement de la loi des durées de service de la Grue de service de la Grue MHC

• **Résultat**

D'après la figure 3.30 et le tableau 3.12, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durées de service de la Grue MHC lors du processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus ou moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.31 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

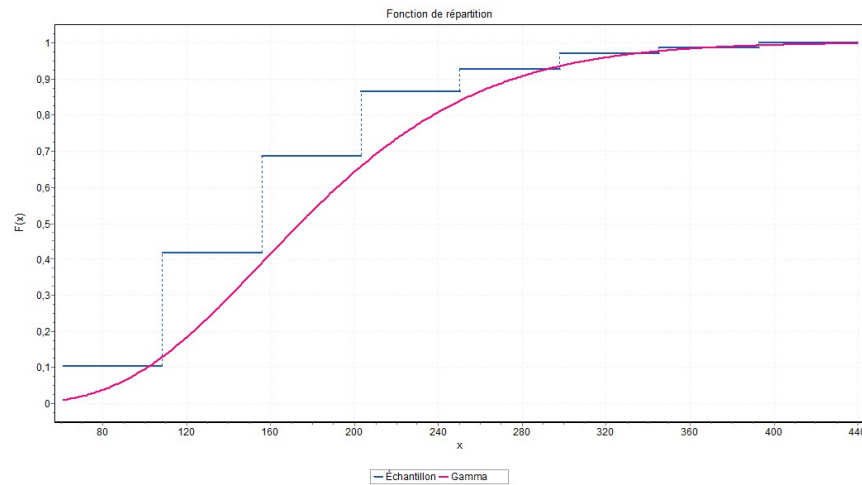


FIGURE 3.31 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service de la Grue MHC lors du processus de débarquement

– **Loi de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue MHC**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue MHC".

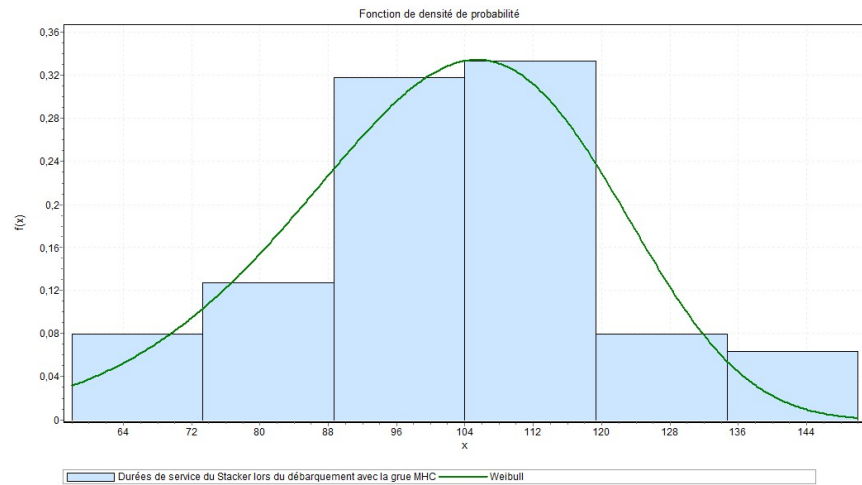


FIGURE 3.32 – Histogramme des durées de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue MHC

Pour un échantillon de taille $N = 63$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est D_{63} .

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.13 :

Lois	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Gamma (α, β)	Erlang (m, β)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(108.32, 6.327)	(18.736 , 101.68)	(29.368 , 3.6423)	(29 , 3.4623)	0.00983
Statistique	0.06063	0.06529	0.08682	0.11392	0.64588
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.13 – Ajustement de la loi de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la Grue MHC

• **Résultat**

D'après la figure 3.32 et le tableau 3.13, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durées de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la grue MHC". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.33 illustre et confirme l'ajustement par la loi Weibull.

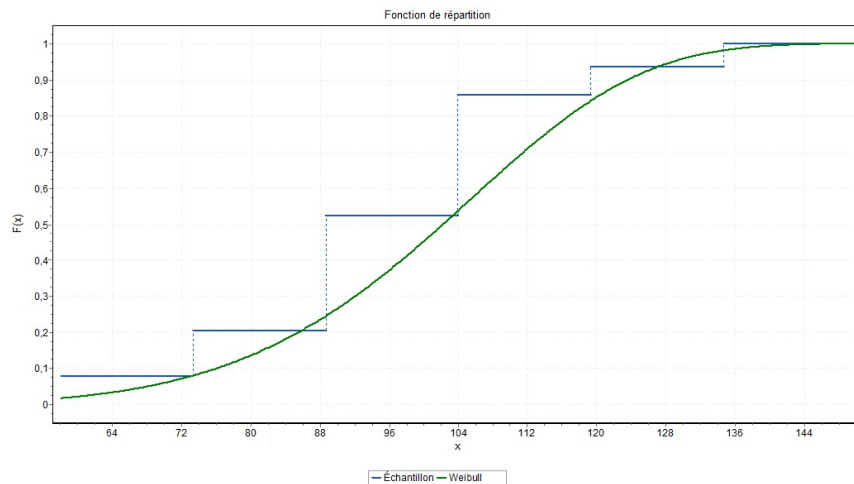


FIGURE 3.33 – Comparaison des fonction de répartition théorique et empirique des durées de service du Steacker lors du processus de débarquement avec la grue MHC

– **Loi de service des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe le Mol du quai 1 au bloc de stockage.
- La durée de service du RTG.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai ;
- la durée d'attente pour être servie pendant la quelle le RTG s'occupent du service d'un autre mol ou du service d'un client final.

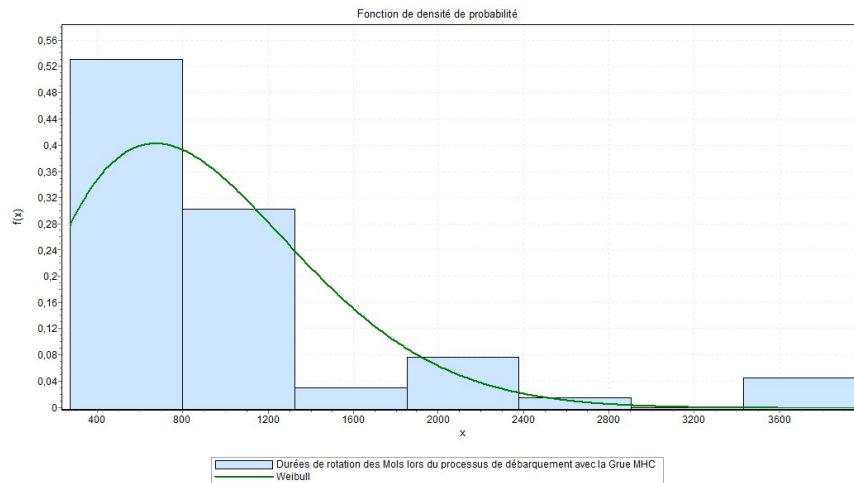


FIGURE 3.34 – Histogramme des durées de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC

Pour un échantillon de taille $N = 66$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{66} = 0.16443$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.14 :

Lois	Weibull (α, β)	Gamma (α, β)	Normal (σ, μ)	Exp (λ)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(1055.1, 1.8016)	(1.5331 , 649.96)	(804.76 , 996.42)	0.001	(1 , 649.96)
Statistique	0.1587	0.18738	0.2259	0.27503	0.40152
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.14 – Ajustement de la loi des durées de rotation des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC

• **Résultat**

D'après la figure 3.34 et le tableau 3.14, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durée de rotation des mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 4.35 illustre et confirme l'ajustement par la loi Weibull.

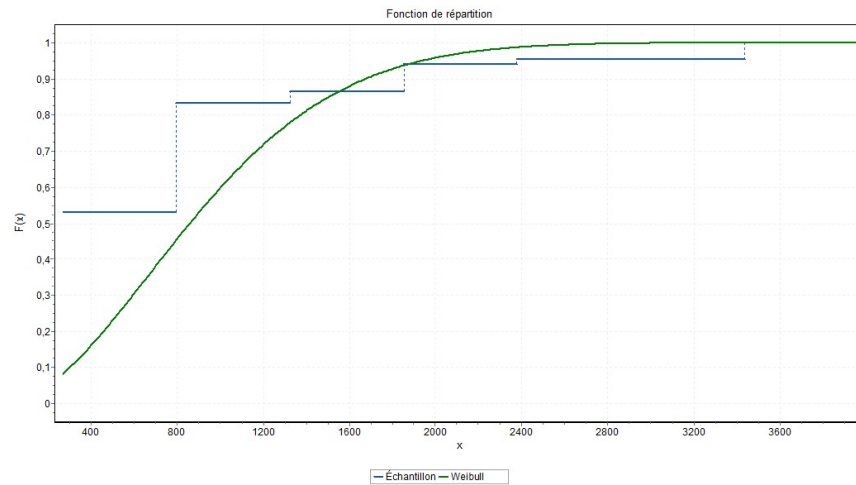


FIGURE 3.35 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC

– Loi des durées d’attente de la Grue MHC

Soit X la variable aléatoire : "Durée d’attente de la Grue MHC lors du débarquement".

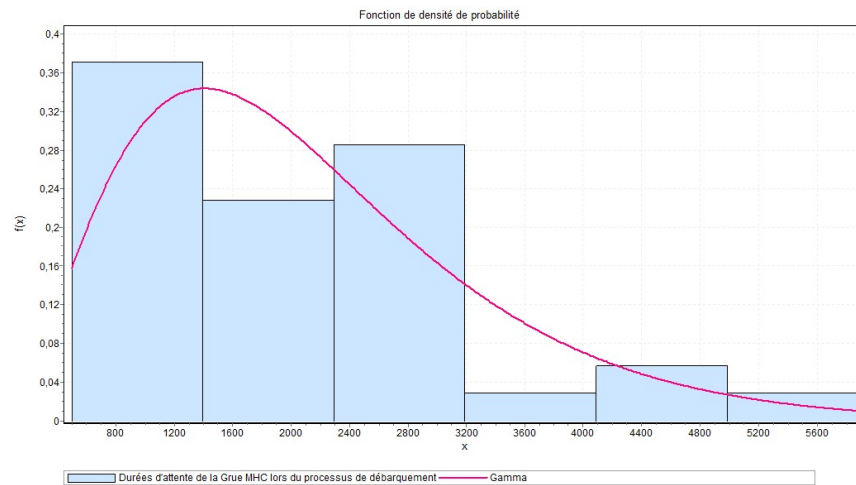


FIGURE 3.36 – Histogramme des durées d’attente de la Grue MHC lors du processus de débarquement avec la Grue MHC

Pour un échantillon de taille $N = 35$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{35} = 0.22425$.
L’ajustement est représenté dans le Tableau 3.15 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normal (σ, μ)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(2.9884 , 708.63)	(2276, 2.0281)	(1225 , 2117.7)	(2 , 708.63)
Statistique	0.07631	0.08986	0.14202	0.32601
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.15 – Ajustement de la loi de la durée d’attente de la Grue MHC lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D’après la figure 3.36 et le tableau 3.15, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l’échantillon "durées d’attente de la grue MHC lors du processus de débarquement". ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain.

La figure 3.37 illustre et confirme l’ajustement par la loi Gamma.

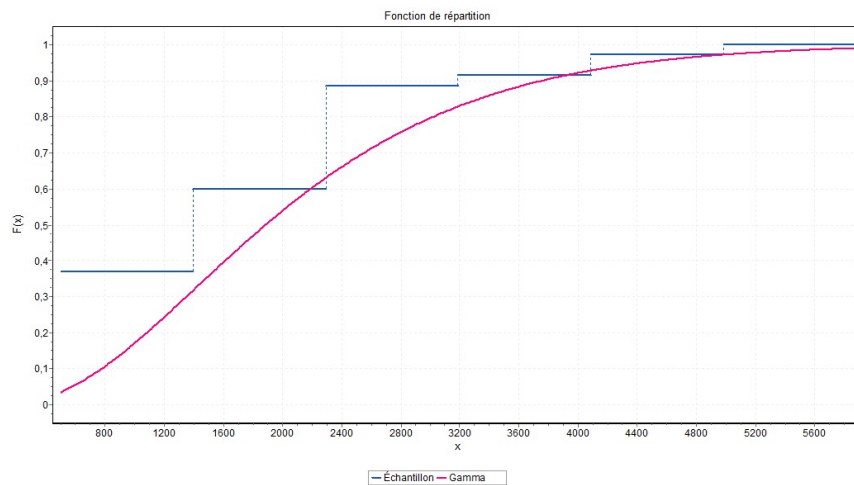


FIGURE 3.37 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des attentes de la Grue MHC lors du processus de débarquement.

– **Loi des durées d’attente du Steacker**

Soit X la variable aléatoire : "Durées d’attente du Steacker lors du processus de débarquement".

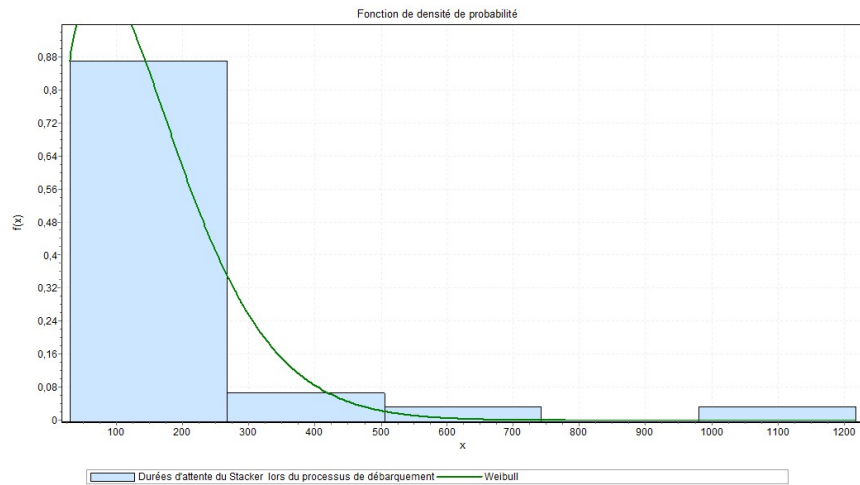


FIGURE 3.38 – Histogramme des durées d'attente du Steacker.

Pour un échantillon de taille $N = 31$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{31} = 0.23788$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.16 :

Lois	Weibull (α, β)	Exp (λ)	Gamma (α, β)	Normal (σ, μ)
Para- mètres (secondes)	(166.2, 1.4651)	0.00541	(0.67855 , 272.36)	(222.35 , 184.81)
Statistique	0.09242	0.15971	0.23676	0.294
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.16 – Ajustement de la loi d'attente du Steacker lors du processus de débarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.38 et le tableau 3.16, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durée d'attente du Steacker lors du processus de débarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.39 illustre et confirme l'ajustement par la loi Weibull.

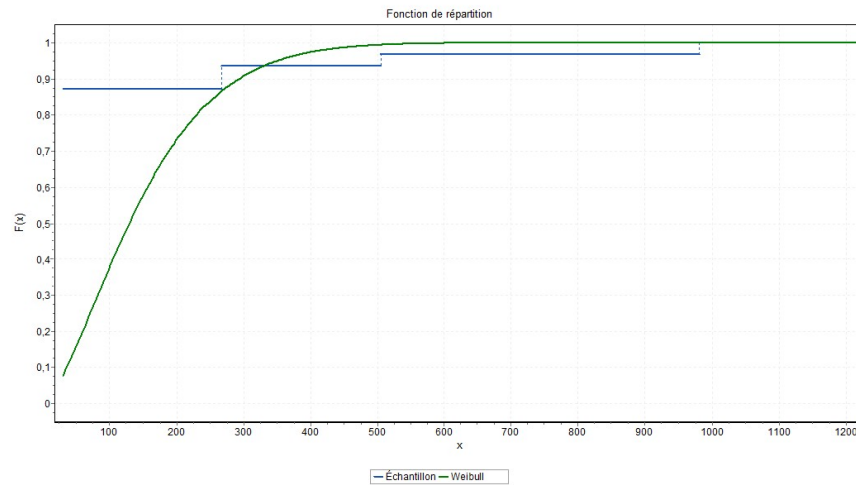


FIGURE 3.39 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des attentes du Steacker lors du processus de débarquement.

3.5.5 Lois de service de l'RTG

Le service de l'RTG est partagé entre deux classes de clients ; le déchargement des Mols provenant lors du processus de débarquement des navires et la livraison aux clients finaux durant les shifts de livraison.

Loi de service de l'RTG lors du processus de déchargement des Mols

Soit X la variable aléatoire : "Durée de déchargement du conteneur sur les Mols aux blocs de stockage".

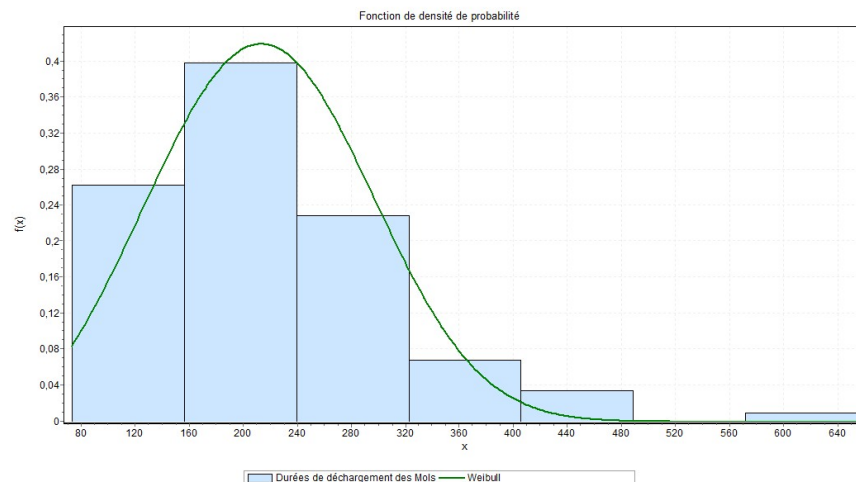


FIGURE 3.40 – Histogramme des durées de service de l'RTG.

Pour un échantillon de taille $N = 118$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{118} = 0.12501$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.17 :

Lois	Weibull (α, β)	Gamma (α, β)	Normale (σ, μ)	Erlang (m, β)	Exp (λ)
Para- mètres (secondes)	(241.4, 3.1182)	(3.6971 , 38.667)	(92.292 , 220.29)	(5 , 38.667)	0.00454
Statistique	0.06097	0.06151	0.10188	0.15428	0.3457
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.17 – Ajustement de la loi de service de l'RTG

• **Résultat**

D'après la figure 3.40 et le tableau 3.17, on constate que la loi Weibull est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durées de déchargement des Mols". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.41 illustre et confirme l'ajustement par la loi Weibull.

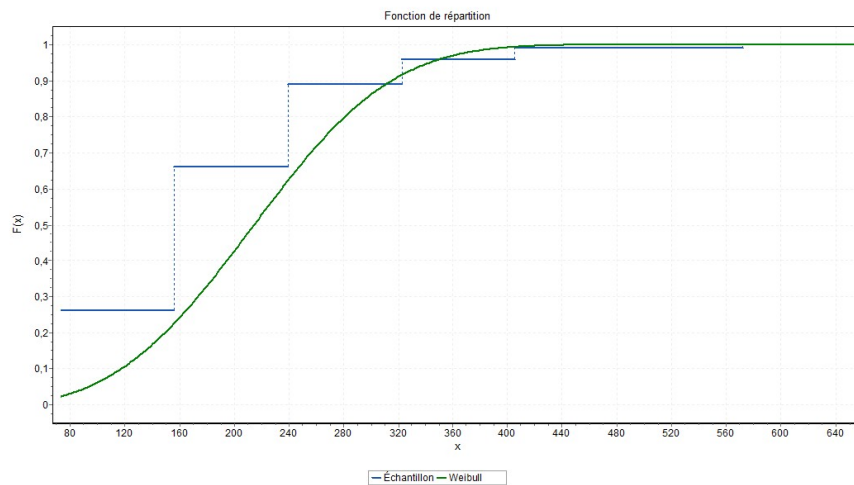


FIGURE 3.41 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service de l'RTG.

Loi de service de l'RTG lors du processus de chargement des clients finaux

Soit X la variable aléatoire : "Durées de chargement du conteneur sur les camions des clients finaux".

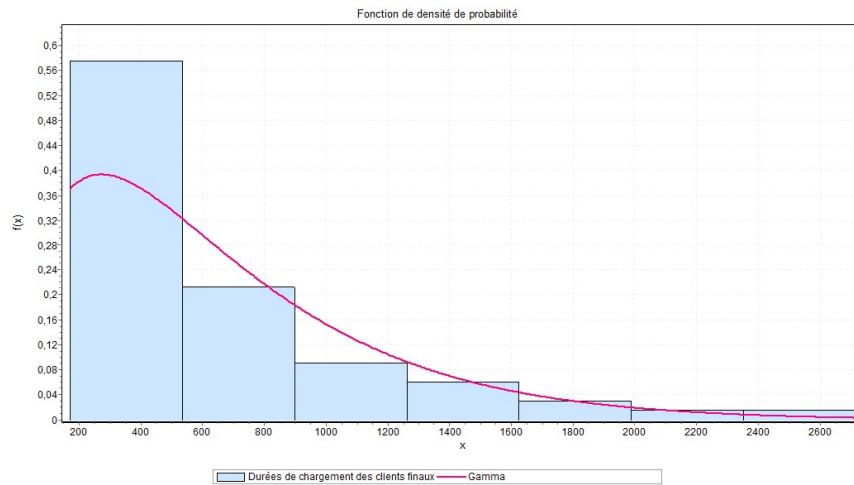


FIGURE 3.42 – Histogramme des durées de service de l'RTG.

Pour un échantillon de taille $N = 66$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{66} = 0.16443$.

L'ajustement est représenté dans la Tableau 3.18 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Exp (λ)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(1.6856 , 397.03)	(707.51, 1.7332)	(515.47 , 669.24)	0.00149	(1 , 397.03)
Statistique	0.12051	0.12122	0.18614	0.22432	0.3483
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.18 – Ajustement de la loi de service de l'RTG

• **Résultat**

D'après la figure 3.42 et le tableau 3.18, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durées de chargement des clients finaux". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.43 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

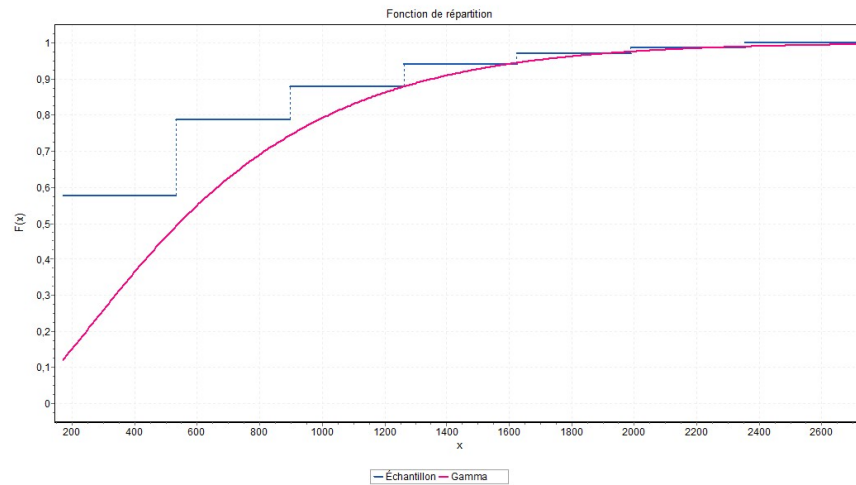


FIGURE 3.43 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service de l'RTG.

3.6 Le processus d'embarquement au niveau de BMT

On s'intéresse aux opérations d'embarquement qui se font sur les deux quais où seulement les moyens de manutention de BMT interviennent i.e, les postes 23 et 24 (qu'on a nommé quai 1 et quai 2).

Dans cette section, on considère que la zone de stockage des conteneurs vides et ceux destinés à l'export comme étant une source infinie. Dans la réalité la source est finie, et il existe des situations dans lesquelles la zone des TCs destinés à l'embarquement est vide durant le processus d'embarquement. Une problématique que nous n'avons pas pu prendre en charge durant notre étude.

L'objectif de cette partie est de modéliser le processus d'embarquement avec les différentes combinaisons possibles des grues d'embarquement.

3.6.1 Description du modèle associé à l'embarquement au quai 1

Les opérations d'embarquement au niveau du quai 1 se font avec deux types de grues de quai ; les grues mobiles (MHC et Lihber), et les deux Quay Cranes. Dans cette partie, on va essayer de modéliser les différentes combinaisons possibles des moyens de manutention (grues de quai) qui peuvent se présenter sur le quai 1 (poste 23).

1. Embarquement avec un seul moyen de manutention

Deux cas sont possibles dans cette partie : soit embarquement avec l'une des grues mobiles, ou avec un des Quay Cranes.

– Embarquement avec QC

Le processus d'embarquement avec QC, peut être décrit par un modèle de file d'attente avec un seul serveur, et une file d'attente avec une capacité limitée à 6 clients. La source

des clients est finie, et ces derniers seront servi selon leur ordre d'arrivée.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.44 .

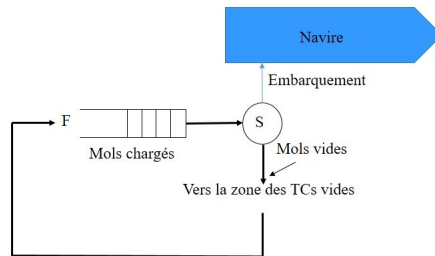


FIGURE 3.44 – Embarquement avec un seul QC

- F : Une file d'attente des camions ;
- S : Serveur QC qui décharge les TCs sur les Mols et les charge sur le navire.

– **Embarquement avec Grue**

L'embarquement avec seulement une Grue au poste 23 (quai 1) peut se produire dans le cas où les deux QCs sont en panne.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus est le même que celui représenté dans le cas d'embarquement avec QC (voir figure 3.44).

2. **Embarquement avec deux moyens de manutention :**

– **Embarquement avec deux QC**

Le processus d'embarquement avec deux QCs, peut être décrit par le modèle de file d'attente suivant : deux serveurs séparés, avec deux files d'attente séparées qui ont une capacité limitée à 6 camions remorqueurs, et une source de clients finie.

Les Mols seront servis selon leur ordre d'arrivée.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.45.

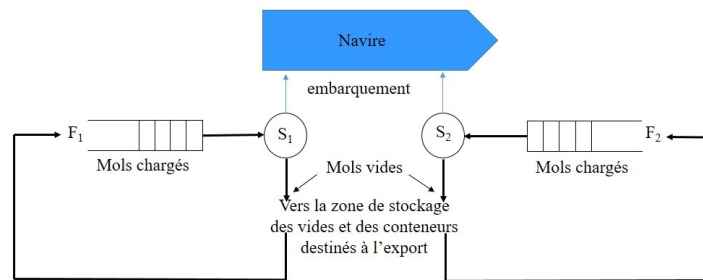


FIGURE 3.45 – Embarquement avec deux QCs

- F_1 : Une file d'attente des Mols au QC_1 .
- F_2 : Une file d'attente des Mols au QC_2 .
- S_1 : Serveur Quay Crane1 qui décharge les TCs sur les Mols et les embarque sur le navire.
- S_2 : Serveur Quay Crane2 qui décharge des TCs chargés sur les Mols et les embarque sur le navire.

– **Embarquement avec QC et Grue**

La modélisation du processus d'embarquement avec QC et Grue est la même représentée dans le cas d'embarquement avec deux QC (voir figure 3.45).

3. **Embarquement avec trois moyens de manutention**

Le processus d'embarquement avec trois moyens de manutention est conditionné par les mêmes conditions liées au débarquement avec 3 moyens de manutention. Une condition qu'on peut rajouter est celle liée aux opérations de débarquement qui doivent être finies pour que les trois moyens

puissent faire l'embarquement au même temps.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.46.

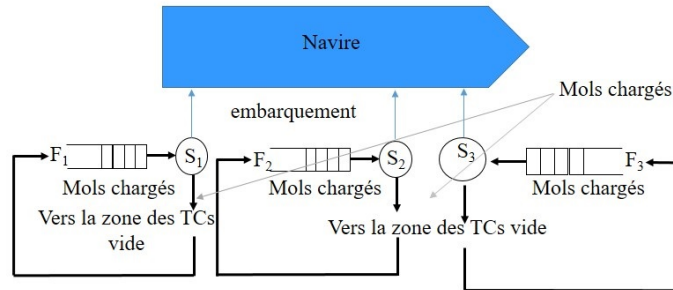


FIGURE 3.46 – Embarquement avec deux QCs et Grue

- F_1 : Une file d'attente des Mols vers le QC_1 .
- F_2 : Une file d'attente des Mols vers le QC_2 .
- F_3 : Une file d'attente des Mols vers le steacker qui est monté en série avec la Grue.
- S_1 : Serveur Quay Crane1 qui décharge les TCs sur les Mols et les embarque sur le navire.
- S_2 : Serveur Quay Crane2 qui décharge les TCs sur les Mols et les embarque sur le navire.
- S_3 : Serveur Grue qui décharge les TCs sur les Mols et les embarque sur le navire.

3.6.2 Description du modèle associé à l'embarquement au quai 2

Les opérations d'embarquement au quai 2 se font seulement avec les Grues mobile (MHC et Lihber).

1. Embarquement avec un seul moyen :

- **Embarquement avec une seule Grue mobile**

Les opérations d'embarquement au niveau du quai 2 se font généralement avec un seul moyen de manutention à cause de la disponibilité des équipements, et du personnel. La modélisation du processus d'embarquement avec la grue mobile sur le quai 2 et la même représentée par la figure 3.44.

2. Embarquement avec deux moyens de manutention

– **Embarquement avec deux Grues mobiles**

Le processus d'embarquement avec deux Grues mobiles ne se présente que si la deuxième grue mobile n'est pas en service au quai 1 (poste 23), sans oublier la disponibilité du personnel et des Mols. Le modèle associé à cette situation est le même considéré avec deux moyens de manutention au quai 1 (voir figure 3.45).

3.6.3 Service Mols

Les Mols sont un élément essentiel dans le processus d'embarquement, leur tâche est de transférer les TCs vides ou ceux destinés à l'export de la zone de stockage au quai. Les Mols affectés à un moyen de manutention (QC ou Grue) n'interviennent pas dans le service d'autres moyens d'embarquement.

3.6.4 Zone de stockage du vides et des conteneurs destinés à l'export

Les conteneurs vides et ceux destinés à l'export sont stockés dans la même zone au niveau de BMT, la source principale des conteneurs vides est la ZEP vide (Zone Extra Portuaire) qui se situe à Aboudaw. Les TCs stockés au terminal seront embarqués soit dans le navire accosté ou bien dans le navire prochain, car la capacité de stockage de la zone est limitée. le même processus est considéré pour les TCs destinés à l'export.

3.6.5 Modèle Final associé au processus d'embarquement

Nous avons choisi de présenté un modèle qui correspond à l'une des situations réelles qui peuvent se présenter. le modèle représenté dans la figure 3.47 est celui d'embarquement avec QC et Grue mobile :

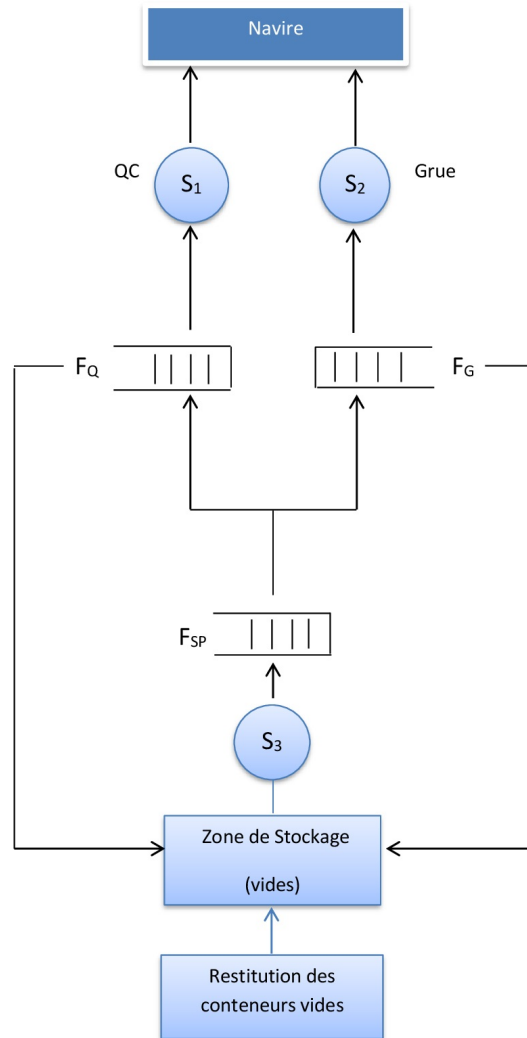


FIGURE 3.47 – Modèle général de l'une des situation d'embarquement.

Description des composants du modèle

- Les serveurs

Notre modèle est composé des serveurs suivants :

- S_1 : le serveur du QC qui charge un TC à partir des Mols vers le navire.
- S_2 : la grue mobile charge les TCs à partir des Mols vers le navire.
- S_3 : le Spreader qui se trouve dans la zone du stockage (vides) et qui consiste à chargé les TCs vides sur les Mols.

• Les files d'attente correspondantes

- F_Q : C'est la file d'attente des clients (Mols) chargés des TCs vides devant le QC.
- F_G : C'est la file d'attente des clients (Mols) chargés des TCs vides devant la grue mobile.
- F_{SP} : C'est la file d'attente des clients (Mols) vides devant le Spreader.

3.7 Identification des différentes lois gouvernant le processus d'embarquement

3.7.1 Embarquement avec le QC1

Le modèle mathématique associé est présenté dans la section précédente.

Identification des lois des processus intervenants

- Loi de service du QC1

Soit X la variable aléatoire : "Durée de services du QC1 à l'embarquement".

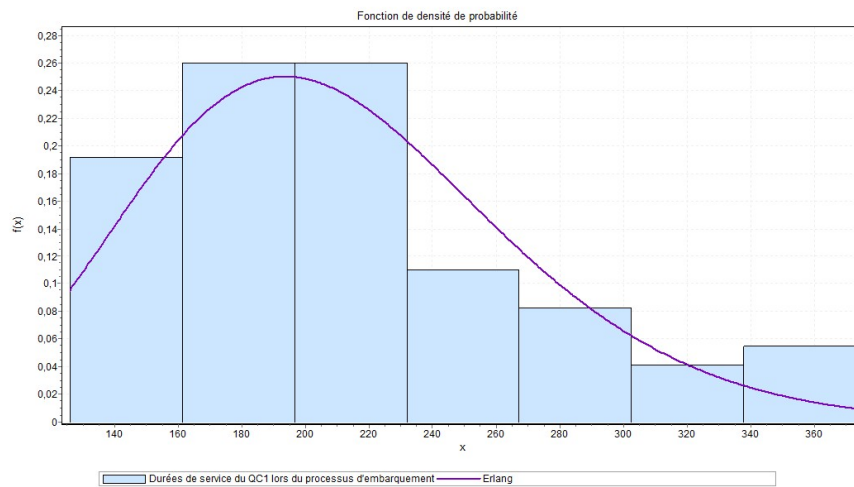


FIGURE 3.48 – Histogramme des durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement.

Pour un échantillon de taille $N = 73$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{73} = 0.15649$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.19 :

Lois	Erlang (m, β)	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(13 , 16.141)	(13.259 , 16.141)	(231.9, 4.5203)	(58.771 , 214)	0.00467
Statistique	0.06923	0.08721	0.12063	0.12348	0.45416
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.19 – Ajustement de la loi des durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.48 et le tableau 3.19, on constate que la loi Erlang ajuste mieux l'échantillon "durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.49 illustre et confirme l'ajustement par la loi Erlang.

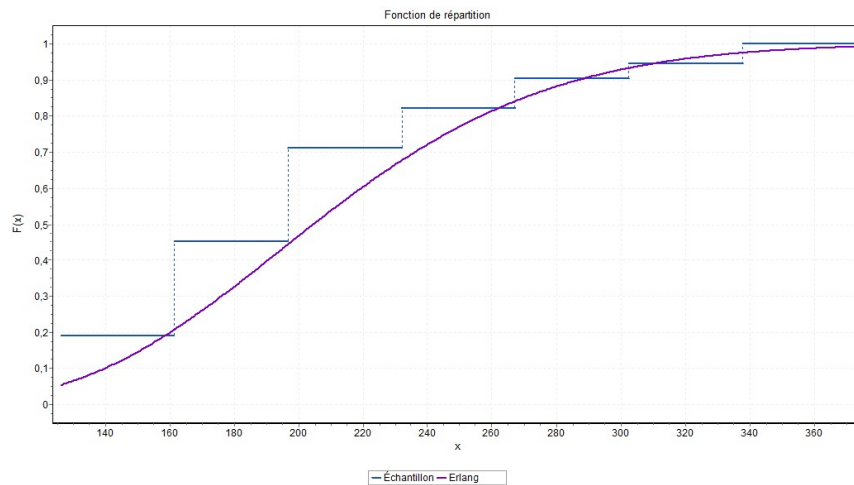


FIGURE 3.49 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de service du QC1 lors du processus d'embarquement

– **Loi de service des Mols lors du processus d'embarquement avec le QC1**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de rotation des Mols lors du processus d'embarquement avec le QC1". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe le Mol du quai a la zone de stockage des TCs vides.
- La durée de service du Spreader.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.
- La durée d'attente du Mol devant le Spreader dans le cas ou il est occupé par le service d'un autre Mol.

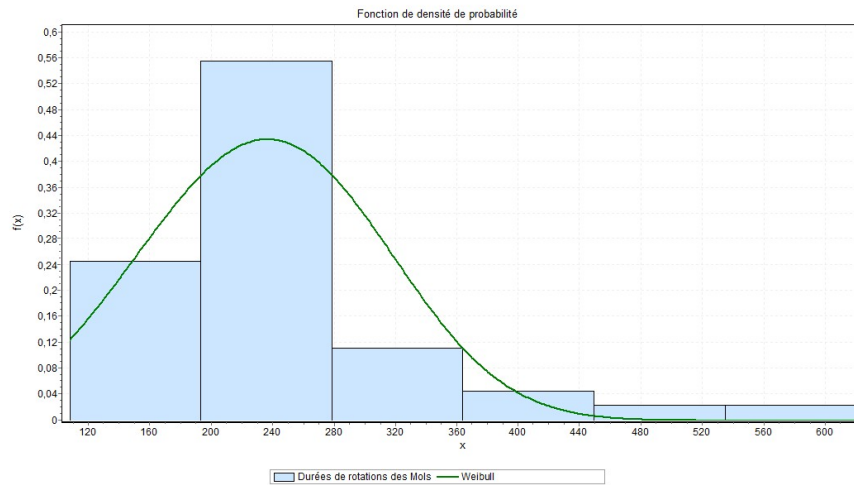


FIGURE 3.50 – Histogramme des durées de rotations des Mols

Pour un échantillon de taille $N = 45$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{45} = 0.19837$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.20 :

Lois	Weibull (α, β)	Gamma (α, β)	Normale (σ, μ)	Erlang (m, β)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(261.55, 3.4494)	(6.5993 , 36.931)	(94.826 , 243.6)	(6 , 36.913)	0.00411
Statistique	0.13228	0.14893	0.1944	0.22407	0.35812
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.20 – Ajustement de la loi des durées de rotations des Mols lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.50 et le tableau 3.20, on constate que la loi Weibull ajuste mieux l'échantillon "durées de rotations des Mols lors du processus d'embarquement le QC1". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.51 illustre et confirme l'ajustement par la loi Weibull.

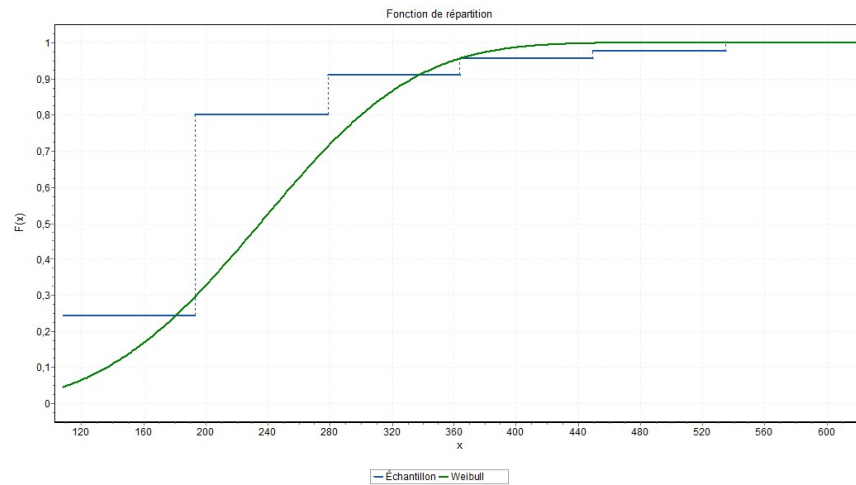


FIGURE 3.51 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des rotations des Mols lors du processus d'embarquement avec le QC1

3.7.2 Embarquement avec le QC2

Le modèle mathématique associé est représenté dans la section précédente.

Identification des lois des processus intervenants

– Loi de service du QC2

Soit X la variable aléatoire : "durée de service du QC2 lors du processus d'embarquement".

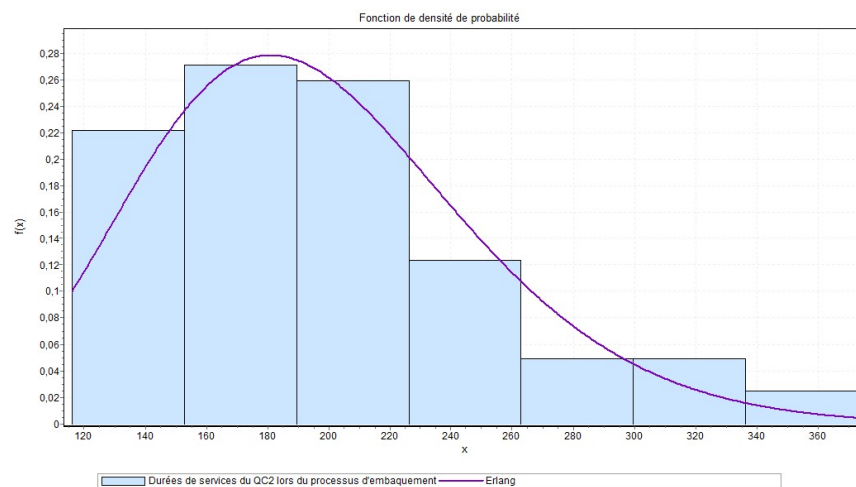


FIGURE 3.52 – Histogramme des durées de service du QC2

Pour un échantillon de taille $N = 81$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{81} = 0.14868$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.21 :

Lois	Erlang (m, β)	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(13 , 15.079)	(13.218 , 15.097)	(215.72, 4.5742)	(54.821 , 199.31)	0.00502
Statistique	0.06923	0.08721	0.12063	0.12348	0.45416
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée

TABLE 3.21 – Ajustement de la loi de service du QC2 lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.52 et le tableau 3.21, on constate que la loi Erlang est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de service du QC2". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proche de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.53 illustre et confirme l'ajustement par la loi Erlang.

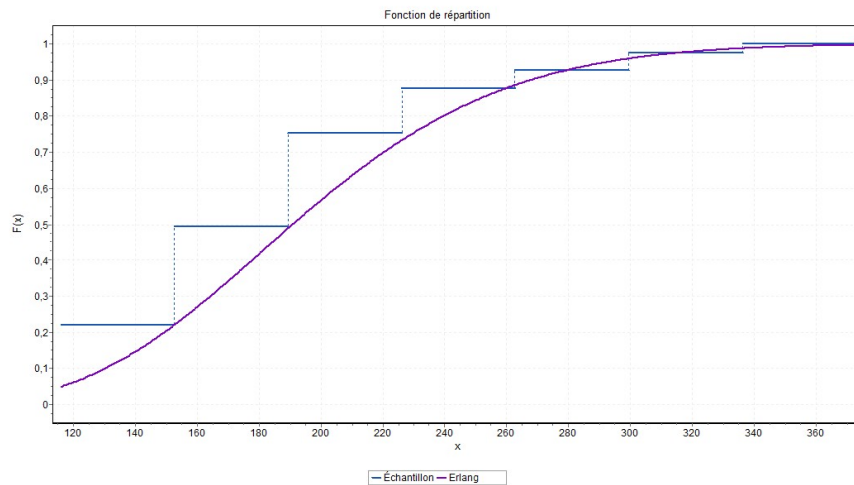


FIGURE 3.53 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service du QC2

– **Loi de service des Mols**

Soit X la variable aléatoire : " Soit X la variable aléatoire : "Durée des rotations de Mol lors du processus d'embarquement avec le QC2". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe la Mol du quai a la zone de stockage des TCs vide.
- La durée de service du Spreader.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.
- La durée d'attente du Mol devant le Spreader dans le cas ou il est occupé par le service d'un autre Mol.

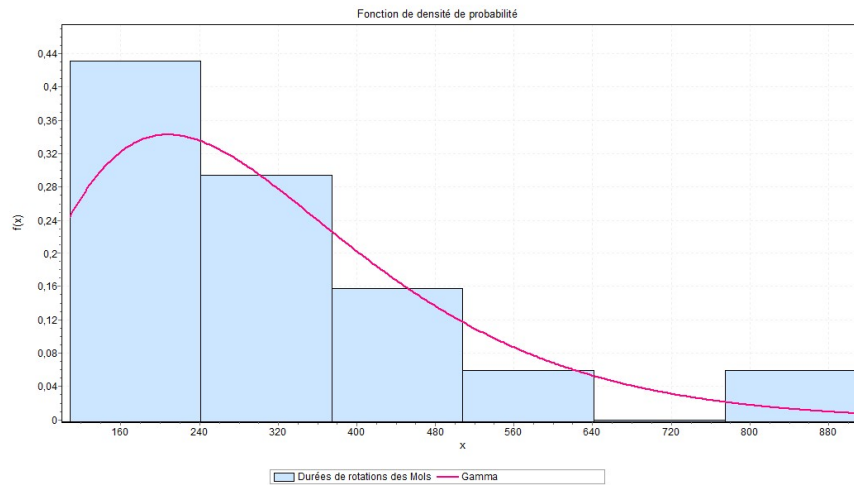


FIGURE 3.54 – Histogramme des durées de rotations des Mols

Pour un échantillon de taille $N = 51$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{51} = 0.18659$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.22 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Exp(λ)	Erlang (m, β)
Para- mètres (secondes)	(2.9521 , 106.57)	(340.73, 2.2892)	(183.11 , 314.61)	0.00318	(2 , 106.57)
Statistique	0.1532	0.18617	0.2258	0.30166	0.38357
Décision	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.22 – Ajustement de la loi de service des Mols lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.54 et le tableau 3.22, on constate que le loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durées de rotations des Mols lors du processus d'embarquement avec le QC2". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.55 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

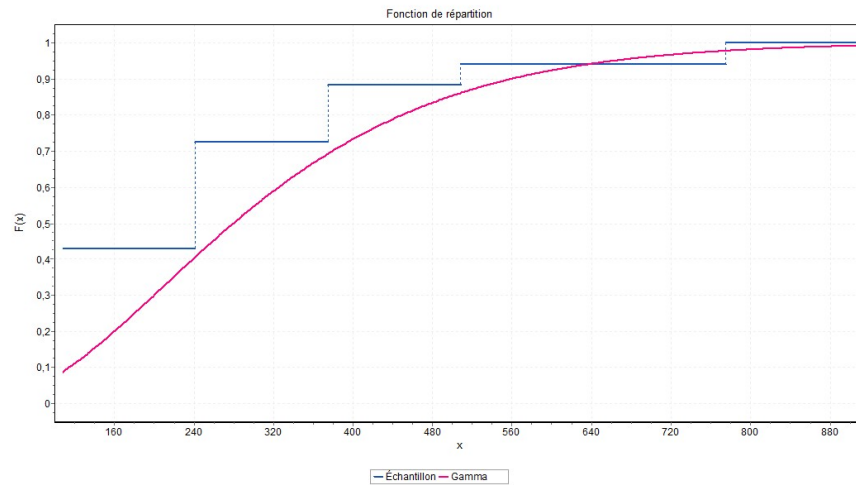


FIGURE 3.55 – Histogramme des durées de rotations des Mols

3.7.3 Embarquement avec la Grue Lihber

Le modèle mathématique est déjà représenté dans la section précédente.

Identification des lois des processus intervenants

– Loi de service de la Grue Lihber

Soit X la variable aléatoire : "durée de services de la Grue Lihber lors du processus d'embarquement".

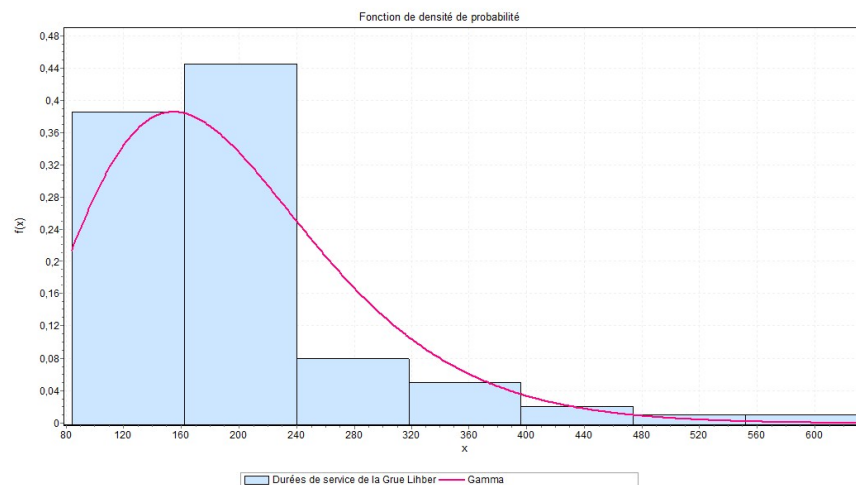


FIGURE 3.56 – Histogramme des durées de service de la grue Lihber

Pour un échantillon de taille $N = 101$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{101} = 0.13513$. L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.23 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Erlang (m, β)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(4.835 , 40.32)	(212.81, 3.1189)	(88.659 , 194.95)	(4 , 40.32)	0.00513
Statistique	0.12138	0.12803	0.14931	0.25252	0.39161
Décision	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.23 – Ajustement de la loi de service de la Grue Lihber lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.56 et le tableau 3.23, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de service de la Grue Lihber". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proche de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.57 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

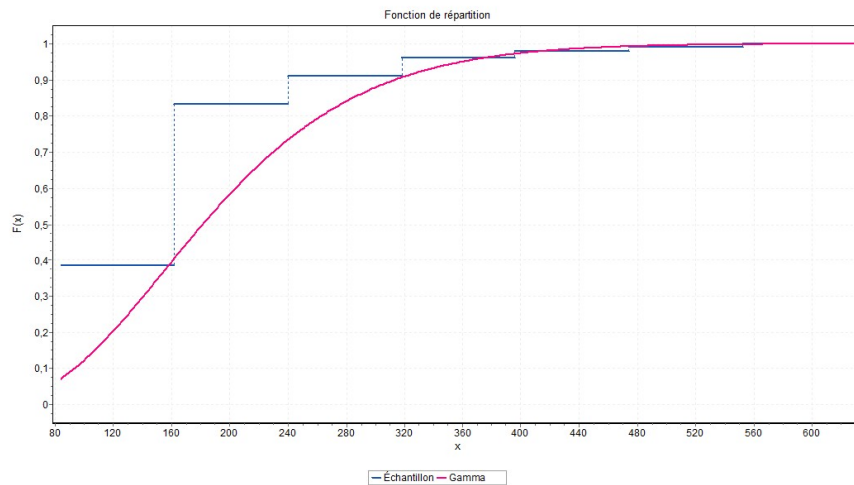


FIGURE 3.57 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service de la Grue Lihber

– **Loi de service des Mols**

Soit X la variable aléatoire : "Durée de rotation des Mols lors du processus d'embarquement avec la Grue Lihber". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe la Mol du quai a la zone de stockage des TCs vide.
- La durée de service du Spreader.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.
- La durée d'attente du Mol devant le Spreader dans le cas ou il est occupé par le service d'un autre Mol.

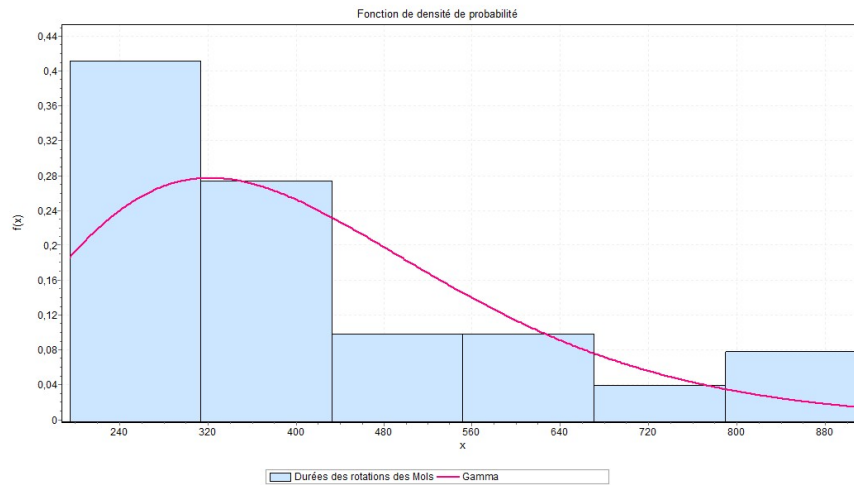


FIGURE 3.58 – Histogramme des durées de rotations des Mols

Pour un échantillon de taille $N = 51$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{51} = 0.18659$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.24 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Erlang (m, β)	Normale (σ, μ)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(4.7181 , 86.692)	(449.21, 2.771)	(4 , 86.692)	(188.31 , 409.02)	0.00244
Statistique	0.15744	0.19047	0.20088	0.20827	0.3792
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.24 – Ajustement de la loi de service des Mols lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.58 et le tableau 3.24, on constate que le loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "durées de rotations des Mols lors du processus d'embarquement avec la Grue Lihber". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.59 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

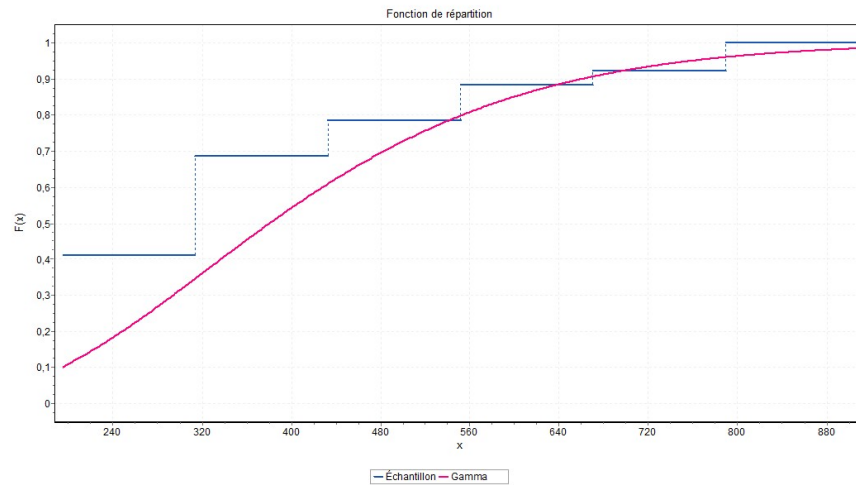


FIGURE 3.59 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique des durées de rotations des Mols

3.7.4 Embarquement avec la Grue MHC

Le modèle mathématique est déjà représenté dans la section précédente.

Identification des lois des processus intervenants

– Loi de service de la Grue MHC

Soit X la variable aléatoire : "durée de services de la Grue MHC lors du processus d'embarquement".

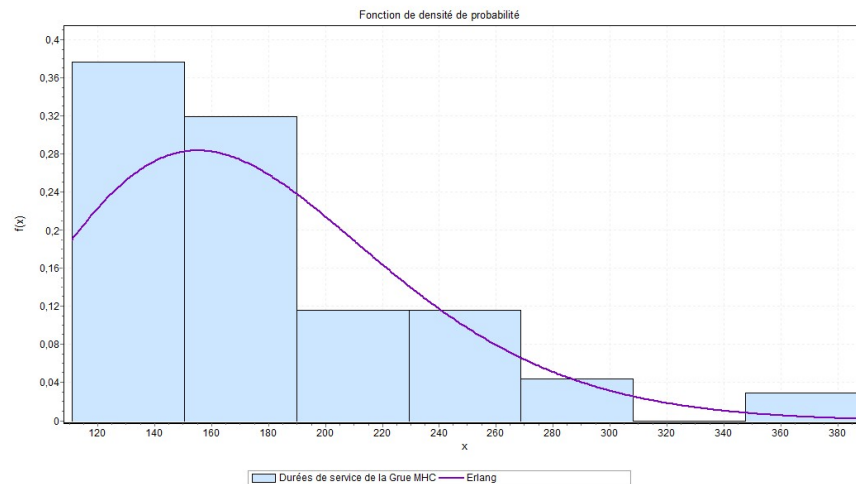


FIGURE 3.60 – Histogramme des durées de service de la grue MHC

Pour un échantillon de taille $N = 69$, à un niveau de signification $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{101} = 0.16088$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.25 :

Lois	Erlang (m, β)	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Normale (σ, μ)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(9 , 19.406)	(9.2768 , 19.406)	(195.64, 3.9628)	(59.108 , 180.03)	0.00555
Statistique	0.12678	0.13227	0.15987	0.17561	0.46021
Décision	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.25 – Ajustement de la loi de service de la Grue MHC lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.60 et le tableau 3.25, on constate que la loi Erlang est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de service de la Grue MHC". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proche de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.61 illustre et confirme l'ajustement par la loi Erlang.

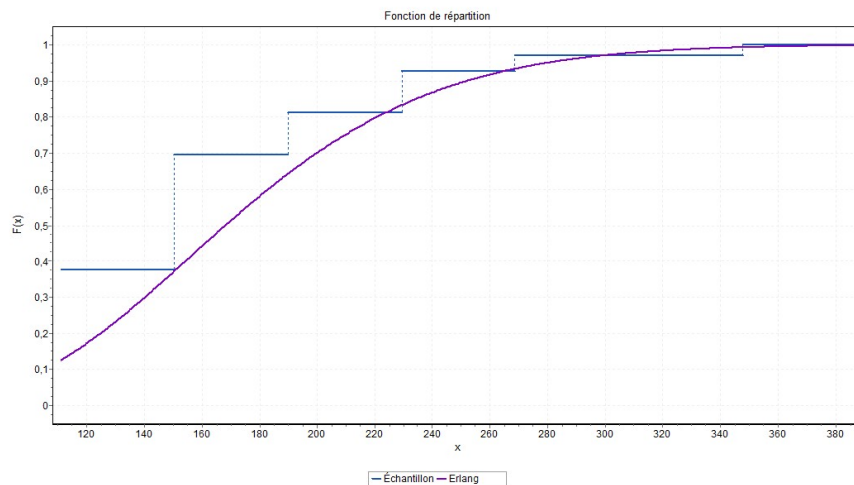


FIGURE 3.61 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service de la Grue MHC

– **Loi de service des Mols**

Soit X La variable aléatoire : "Durée de rotation des mols lors du processus de débarquement avec la Grue MHC". Cette durée en seconde comprend :

- La durée que passe la Mol du quai a la zone de stockage des TCs vide.
- La durée de service du Spreader.
- La durée que passe le Mol pour revenir au quai.
- La durée d'attente du Mol devant le Spreader dans le cas ou il est occupé par le service d'un autre Mol.

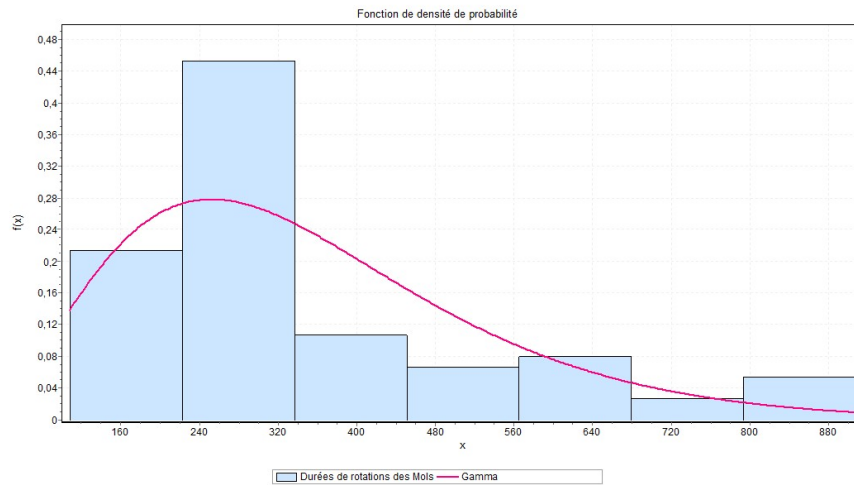


FIGURE 3.62 – Histogramme des durées de rotations des Mols

Pour un échantillon de taille $N = 75$, à un niveau significatif $\alpha = 0.05$, la valeur critique du test de KOLMOGOROV-SMIRNOV est $D_{75} = 0.15442$.

L'ajustement est représenté dans le Tableau 3.26 :

Lois	Gamma (α, β)	Weibull (α, β)	Erlang (m, β)	Normale (σ, μ)	Exp(λ)
Para- mètres (secondes)	(3.5277 , 99.762)	(386.74, 2.3715)	(3 , 99.762)	(187.39 , 351.93)	0.00284
Statistique	0.15744	0.19047	0.20088	0.20827	0.3792
Décision	Acceptée	Rejetée	Rejetée	Rejetée	Rejetée

TABLE 3.26 – Ajustement de la loi de service des Mols lors du processus d'embarquement

• **Résultat**

D'après la figure 3.62 et le tableau 3.26, on constate que la loi Gamma est la loi qui ajuste le mieux l'échantillon "Durées de rotations des Mols lors du processus d'embarquement avec la Grue MHC". Ce qui est approprié pour simuler des observations plus au moins proches de celles récoltées sur le terrain. La figure 3.63 illustre et confirme l'ajustement par la loi Gamma.

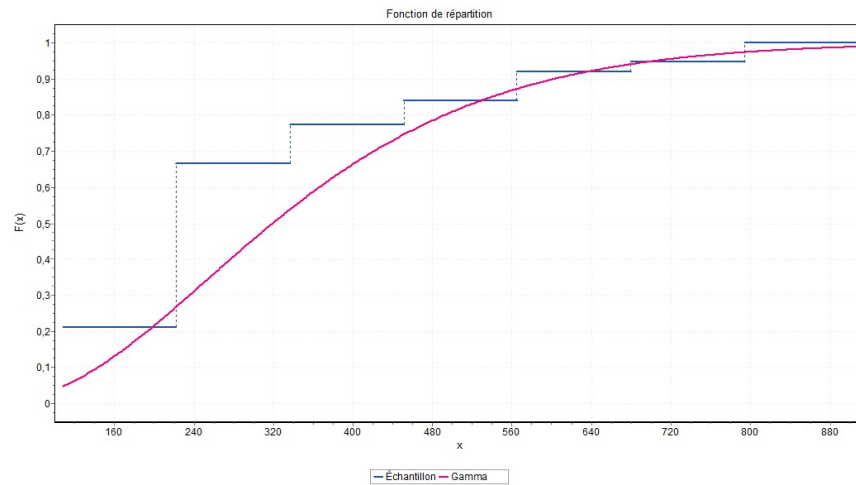


FIGURE 3.63 – Comparaison des fonctions de répartition théorique et empirique de la loi de service des Mols

3.8 Description du modèle de débarquement/embarquement en parallèle

Les opérations de débarquement et d'embarquement se font souvent en parallèle durant les shifts de livraison aux clients finaux. L'embarquement n'est pas conditionné par la fin des opérations de débarquement, mais par contre il est conditionné par la fin de débarquement d'une baie.

L'embarquement d'un porte-conteneurs est divisé en baies. Une baie comprend un TC de 40' ou deux TCs de 20' en longueur, 6 TCs en largeur, 4 étages en moyen au-dessus et au-dessous des cales.

le choix de débarquement et d'embarquement en parallèle se fait à cause de la saturation au niveau des blocs de stockage qui est dû aux camions des clients finaux, un nombre important de clients attendent d'être servi par la même RTG qui serve les Mols chargés dans le cas de débarquement. Ce qui affecte sur la durée de rotation des Mols. Les durées de rotation longues des Mols engendrent des durées d'attente des moyens de manutention affectés au débarquement. Pour cette raison les planers décident d'entamer l'embarquement si une baie est complètement débarquée, pour minimiser les durées d'attente des moyens de manutention affectés à un navire. Une décision qui maximise le service des moyens de manutention, et libère un espace de stockage au niveau des blocs.

Dans cette partie, on va essayer de modéliser les différentes situations qui peuvent se produire sur les deux quais.

3.8.1 Description du processus associé au débarquement/l'embarquement en parallèle au quai 1

Les processus d'embarquement et de débarquement en parallèle au niveau du quai 1 se font avec deux types de grues du quai (QC et Grue). Dans cette situation il faut au moins deux moyens de manutention. Pour mieux expliquer cette situation, on va essayer de modéliser les différentes

situations que nous avons rencontrées durant notre stage à BMT.

1. Utilisation de deux moyens de manutention

– Embarquement avec QC et débarquement avec Grue

Lors du processus de débarquement et d'embarquement en parallèle avec deux moyens les Planers préfèrent toujours affecter la grue mobile au débarquement et le QC à l'embarquement, une décision logique face au nombre de Mols limité, car le QC arrête le débarquement s'il n'y a pas de mols à servir, par contre la grue mobile débarque sur le sol, elle arrête une fois le sol est saturé (le sol à une capacité de 5 TCs).

Le processus associé à cette situation peut être décrit par un modèle de file d'attente avec trois serveurs, qui est divisé en deux systèmes, le premier étant le QC qui embarque les TCs chargés sur les Mols sur le navire, quant au deuxième il se compose de deux serveurs en série le premier est la grue qui débarque les TCs sur le quai le deuxième est le Steacker qui charge les TCs débarqués sur les Mols. La file d'attente dans les deux cas est limitée à 6 clients, et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.64.

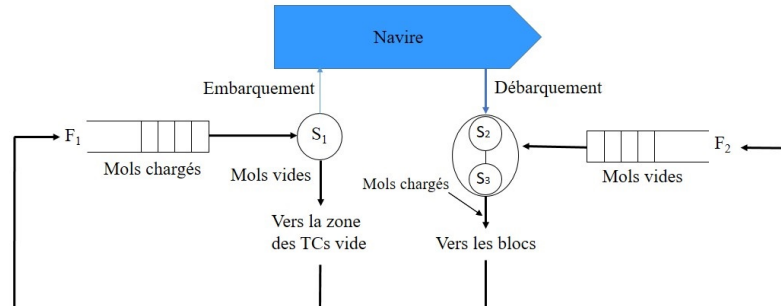


FIGURE 3.64 – Débarquement avec Grue et Embarquement avec QC

- S_1 : le serveur QC qui décharge les TCs sur les Mols et les embarque sur le navire.
- S_2 : le serveur Grue qui débarque les TCs sur sol (quai).
- S_3 : le serveur Steacker qui charge les TCs débarqué par la grue sur les Mols.
- F_1 : une file d'attente de Mols chargés des TCs vides ou destinés à l'export devant le QC.
- F_2 : une file d'attente des Mols vide qui attendent d'être servis par le Steacker.

– Embarquement avec QC1 et débarquement avec QC2

Le processus de débarquement et d'embarquement en parallèle avec deux QCs, peut être décrit par un modèle de file d'attente avec deux serveurs, une file d'attente de Mols chargés

des TCs vides ou des TCs destinés à l'export devant le QC1, et une autre file d'attente de Mols vides devant de QC2 pour être servi. La capacité des deux files d'attente est limitée à 6 clients, et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.65.

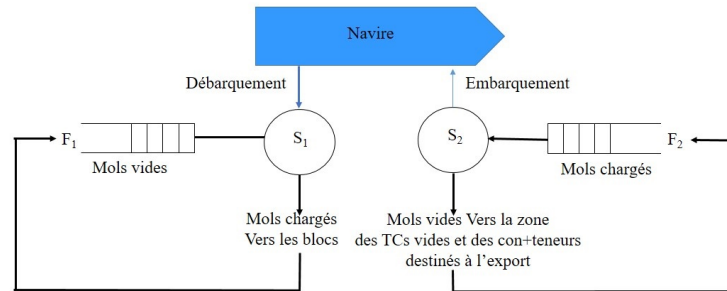


FIGURE 3.65 – Débarquement avec QC1 et Embarquement avec QC2

- S_1 : le serveur QC1 qui embarque les TCs chargés sur les Mols.
- S_2 : le serveur QC2 qui débarque les TCs sur les Mols.
- F_1 : une file d'attente des Mols chargés des TCs vides ou destinés à l'export devant le QC1.
- F_2 : une file d'attente des Mols vides qui attendent d'être servis par le QC2.

2. Utilisation de trois moyens de manutention

- **Débarquement avec une Grue mobile et embarquement avec les deux QCs**

Le processus de débarquement avec une Grue mobile et embarquement avec les deux QCs, peut être divisé en trois systèmes. Le premier système, peu être décrit par un modèle de file d'attente avec de deux serveurs en série (la grue et le Steacker), et les Mols considéré comme étant des clients qui attendent d'être servi par le Steacker, les Mols seront servi selon leur ordre d'arrivée.

Le deuxième système peut être décrit par un modèle de file d'attente avec un seul serveur QC1, une file d'attente à capacité limitée et des Mols chargé comme étant des clients. Ces derniers, seront servis selon leur ordre d'arrivée.

Le troisième système peut être décrit par un modèle de file d'attente avec un seul serveur QC2, une file d'attente à capacité limitée et des Mols chargé comme étant des clients. Ces derniers, seront servis selon leur ordre d'arrivée. Dans les trois cas la file d'attente est limitée à 6 clients, et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.66.

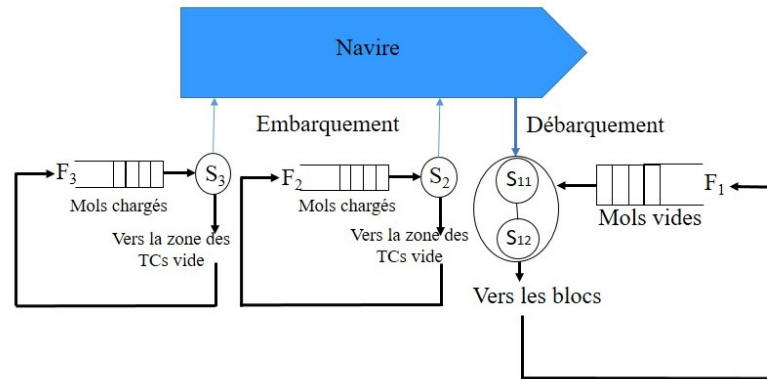


FIGURE 3.66 – Débarquement avec la Grue et Embarquement avec 2 QCs

- S_{11} : Le serveur Grue qui débarque les TCs sur le quai.
- S_{12} : Le serveur Steacker qui charge les TCs sur les Mols.
- S_2 : Le serveur QC1 qui embarque les TCs chargés sur les Mols.
- S_3 : Le serveur QC2 qui embarque les TCs chargés sur les Mols.
- F_1 : une file d'attente des Mols vides destinés à être servis par le Steacker.
- F_2 : une file d'attente des Mols chargés destinés à être servis par le QC1.
- F_3 : une file d'attente des Mols chargés destinés à être servis par le QC2.

– **Débarquement avec QC1/Grue portuaire et embarquement avec le QC2**

Le processus de débarquement avec QC1/Grue et embarquement avec QC2, peut être divisé en trois systèmes. Le premier système, peut être décrit par un modèle d'attente avec deux serveurs en série (la grue et le Steacker), et les Mols considérés comme étant des clients qui attendent d'être servis par le Steacker, les Mols seront servis selon leur ordre d'arrivée.

Le deuxième système peut être décrit par un modèle d'attente avec un seul serveur QC1, une file d'attente à capacité limitée et des Mols vides comme étant des clients. Ces derniers, seront servis selon leur ordre d'arrivée.

Le troisième système peut être décrit par un modèle d'attente avec un seul serveur QC2, une file d'attente à capacité limitée et des Mols chargés comme étant des clients. Ces derniers, seront servis selon leur ordre d'arrivée. Dans les trois cas la file d'attente est limitée à 6 clients, et la source des clients est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.67.

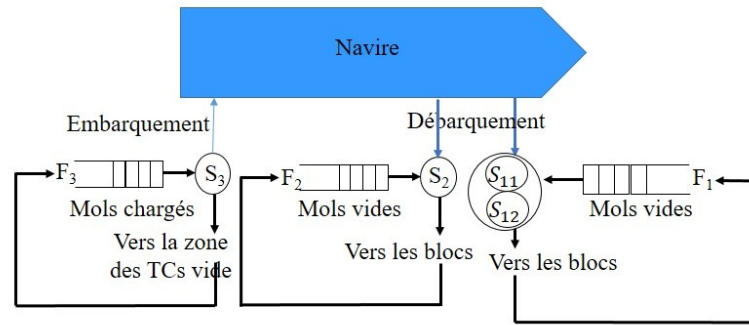


FIGURE 3.67 – Débarquement avec QC1 Grue et Embarquement avec QC2

- S_{11} : Le serveur Grue qui débarque les TCs sur le quai.
- S_{12} : Le serveur Steacker qui charge les TCs sur les Mols.
- S_2 : Le serveur QC1 qui débarque les TCs sur les Mols.
- S_3 : Le serveur QC2 qui embarque les TCs chargés sur les Mols.
- F_1 : une file d'attente des Mols vides destinés à être servis par le Steacker.
- F_2 : une file d'attente des Mols vides destinés à être servis par le QC1.
- F_3 : une file d'attente des Mols chargés destinés à être servis par le QC2.

3.8.2 Description du processus associé au débarquement/embarquement au quai 2

Les processus de débarquement/embarquement en parallèle associé au quai 2 se font avec les Grues Mobiles. Dans cette situation la Grue MHC s'occupe du débarquement et la Grue Lihber s'occupe de l'embarquement ou vice versa.

Nous allons considérer un seul cas, les deux cas sont similaire.

– Débarquement avec la Grue MHC et embarquement avec la Grue Lihber

Le processus de débarquement avec la grue MHC et embarquement avec la grue Lihber, peut être divisé en deux systèmes. le premier système, peu être décrit par un modèle de file d'attente avec de deux serveurs en série (la grue MHC et le Steacker), et les Mols considéré comme étant des clients qui attendent d'être servi par le Steacker, les Mols seront servi selon leur ordre d'arrivée. Le deuxième système peut être décrit par un modèle d'attente avec un seul serveur la grue Lihber, une file d'attente à capacité limitée et des Mols chargé comme étant des clients. la capacité de la files dans les deux cas est limitée à 6, avec la source de client qui est finie.

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma de la figure 3.68.

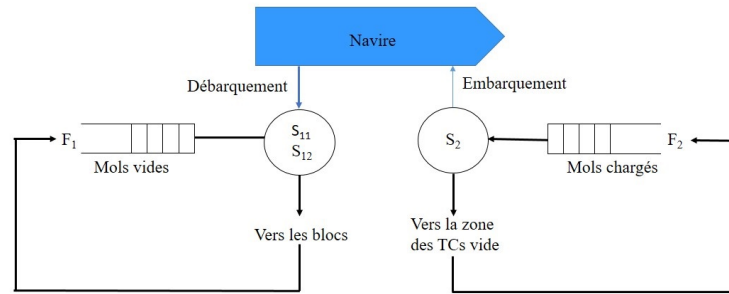


FIGURE 3.68 – Débarquement avec la Grue MHC et embarquement avec la Grue Lihber

- S_{11} : Le serveur Grue MHC qui débarque les TCs sur le quai.
- S_{12} : Le serveur Steacker qui charge les TCs sur les Mols.
- S_2 : Le serveur Grue Lihber qui décharge les Mols et embarque les TCs sur le navire.
- F_1 : une file d'attente des Mols vides destinés à être servis par le Steacker.
- F_2 : une file d'attente des Mols chargés destinés à être servis par la Grue Lihber.

3.8.3 Modèle final associé au processus de débarquement/embarquement en parallèle

L'un des modèles mathématique qui représente l'une des situations possibles lors des processus débarquement et embarquement en parallèle est donné par la figure 3.69.

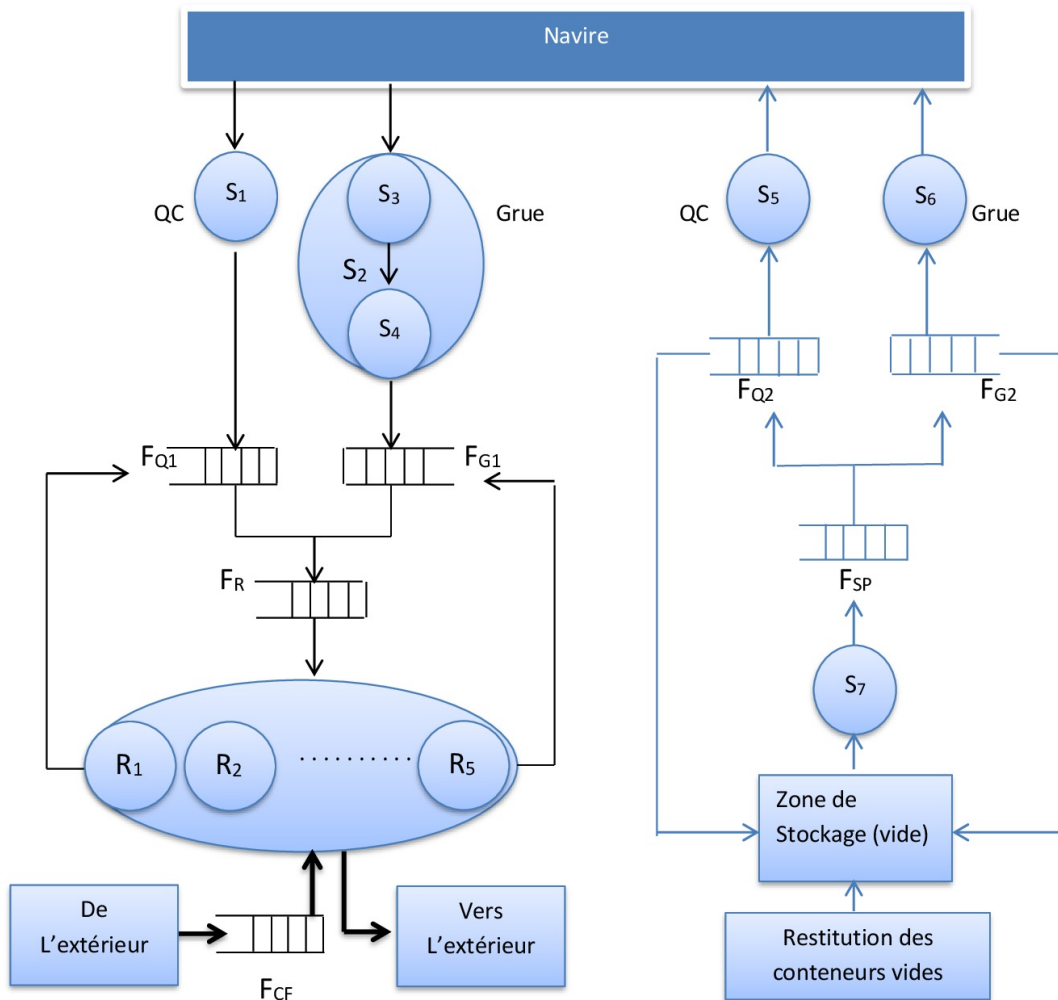


FIGURE 3.69 – Modèle générale de l'une des situation du processus débarquement et embarquement en parallèle.

Description des composants du modèle

- Les serveurs

Notre modèle est composé des serveurs suivants :

- S_1 : le serveur QC1 qui traite un Mol en prenant un TC d'un navire et le dépose sur sa remorque ;
- S_2 : composé de deux serveurs :
 - S_3 : la grue mobile qui prend un TC du navire et le dépose à sol ;
 - S_4 : le Steacker qui charge sur le camion le TC que la grue avait débarqué ;
- $R_1...R_5$: les RTGs qui déchargent le TC du camion et le déposent dans sa position ou bien qui chargent les camions des clients finaux venant de l'extérieur.
- S_5 : le QC2 qui charge un TC à partir des Mols vers le navire.
- S_6 : la grue mobile qui charge les TCs à partir des Mols vers le navire.
- S_7 : le Spreader qui se trouve dans la zone du stockage (vides) et qui charge les TCs vides sur les Mols.

• **Les files d'attente correspondantes**

- F_{Q1} : C'est la file d'attente des clients (Mols) devant le QC1.
- F_{G1} : C'est la file d'attente des clients (Mols) devant la grue mobile.
- F_R : C'est la file d'attente des clients (Mols) devant les RTGs.
- F_{CF} : C'est la file d'attente des clients finaux devant les RTGs.
- F_{Q2} : C'est la file d'attente des clients (Mols) chargés des TCs vides devant le QC2.
- F_{G2} : C'est la file d'attente des clients (Mols) chargés des TCs vides devant la grue mobile.
- F_{SP} : C'est la file d'attente des clients (Mols) vides devant le Spreader.

Conclusion

Après l'ajustement des différentes lois des processus de débarquement et d'embarquement, nous avons constaté que les systèmes modélisés sont de type $G/G/1$ avec une capacité de la file d'attente qui est limitée à 6 clients, et une source finie de clients. Les performances du terminal à conteneur BMT sont difficiles à calculer analytiquement. Pour cela, nous avons opté pour une approche par simulation à événements discrets, que nous allons présenter dans le prochain chapitre.

Résultats de la simulation à événements discrets

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons élaboré un programme de programmation sous Matlab qui nous a permis de déterminer le nombre optimal de camions remorqueur à acheminer à une grue de quai lors des processus de débarquement et embarquement, ainsi que l'impact d'augmentation du nombre des RTGs sur la saturation du parc de stockage des conteneurs plein, et le débarquement des navires.

Au vu de la complexité du modèle global, il n'est pas possible d'analyser et de calculer analytiquement ses caractéristiques. C'est pour quoi nous avons fait appel à l'approche de simulation à événement discrets, dont les organigrammes sont données en Annexe.

4.1 Comparaison entre la productivité et et les résultats de la simulations

L'objectif principal de la comparaison est de s'assurer que les hypothèses et la modélisation du système réel sont raisonnables et correctement mises en œuvre.

4.1.1 Productivité théorique

Dans cette section, nous allons traiter les données qui nous ont été fournies par la direction des opérations, afin de tirer le nombre de conteneurs traité par heure. Ces données datent de novembre 2015 jusqu'au mois de mai 2016.

Grue de Quai	Quay Crane1	Quay Crane2	Grue Lihber	Grue MHC
TCs/Heure	13	15	14	13.07

TABLE 4.1 – Résultats théoriques lors du Débarquement

Grue de Quai	Quay Crane1	Quay Crane2	Grue Lihber	Grue MHC
TCs/Heure	14.80	15.50	14.86	14.36

TABLE 4.2 – Résultats théoriques lors du processus d'embarquement

D'après les résultats obtenus dans le tableau 4.1, on remarque une légère différence entre la productivité de chaque équipement durant le débarquement, cette différence est due à l'expérience des opérateurs et l'âge de l'équipement. Les résultats obtenus dans le tableau 4.2 montrent que la productivité est presque la même pour tous les équipements à l'exception du QC2 qui est d'une productivité moyenne de 15.50 TCs /heure.

4.1.2 Productivité obtenue par simulation

Nous avons procédé par les techniques de la simulation pour calculer la productivité moyenne des quatre Grues de Quai (QC1, QC2, (Grue Lihber), (Grue MHC)), pendant les processus de débarquement et embarquement. Après plusieurs ronds de simulation nous avons obtenu les résultats qui sont représentés dans les tableaux 4.3, et 4.4

Grue de Quai	Quay Crane1	Quay Crane2	Grue Lihber	Grue MHC
TCs/Heure	11.9	14.4	13.90	12.6

TABLE 4.3 – Résultats de la simulation lors du processus de débarquement

D'après les résultats de la simulation, on remarque une différence entre les productivités moyennes de chaque équipement.

Grue de Quai	Quay Crane1	Quay Crane2	Grue Lihber	Grue MHC
TCs/Heure	18.35	18.9	20.1	18.5

TABLE 4.4 – Résultats de la simulation lors du processus d'embarquement

D'après les résultats de la simulation et lors du processus d'embarquement, on remarque que les résultats obtenus sont presque équivalents, à l'exception de la productivité moyenne de la grue Lihber qui est de 20.01 TCs/heure.

4.1.3 Comparaison entre les productivités théoriques et les productivités obtenues par la simulation

Afin de valider les résultats de la simulation, nous avons procédé à la comparaison entre les résultats de la simulation et ceux des données qui nous ont été fournies par la direction des opérations.

Comparaison des résultats pour le QC1

Les figures 4.1, et 4.2 représentent les productivités moyennes (Nombre de conteneur/heure) réelles et simulées durant les processus de débarquement et embarquement du QC1.

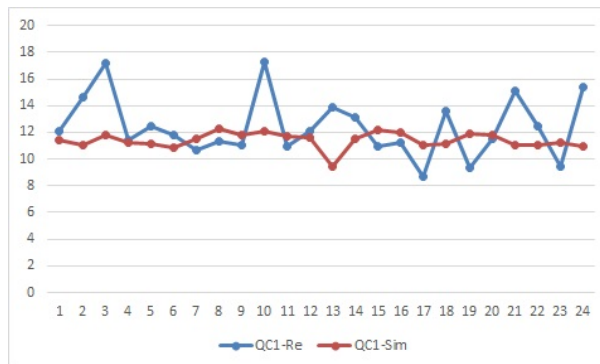


FIGURE 4.1 – Productivité réelle et simulée des opérations de débarquement du QC1

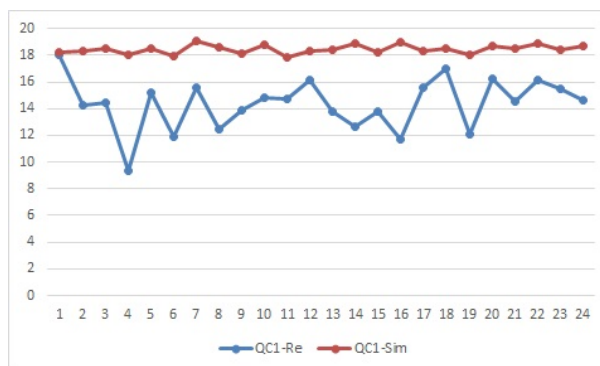


FIGURE 4.2 – Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement du QC1

- **Interprétation**

D'après la figure 4.1, on remarque que les résultats de la simulation sont proches de ceux de la productivité réelle, à l'exception de quelques observations durant lesquelles BMT emploie plus de 3 Mols durant le processus de débarquement avec le QC1, et notre programme de simulation est initialisé à 3 Mols.

D'après la figure 4.2, on remarque que les résultats de la simulation sont différents de ceux de la réalité. La productivité du QC1 simulée est au tour de 18 TCs /heure, et celle de la réalité est au tour de 14 TCs/heure. Car nous avons considéré la source des conteneurs vides (Zone vide) infinie, hors que ce n'est pas le cas qui se présente dans la réalité car BMT à un problème de rapprochement des conteneurs vides depuis la Zone Extra Portuaire. Les productivités que nous avons obtenues avec la simulation sont les capacités de traitement maximales des grues de quai.

Comparaison des résultats pour le QC2

Les figures 4.3, et 4.5 représentent les productivités (Nombre de conteneur/heure) réelles et simulées durant les processus de débarquement et embarquement du QC2.

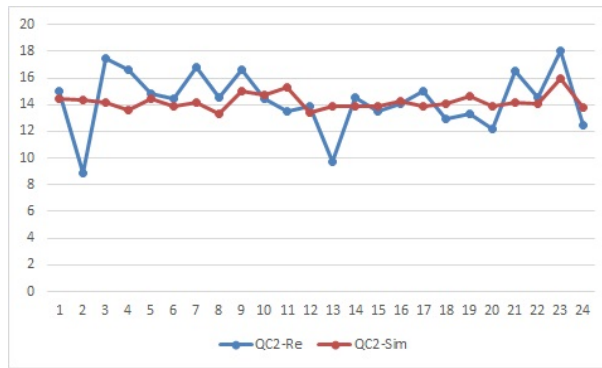


FIGURE 4.3 – Productivité réelle et simulée des opérations de débarquement du QC2

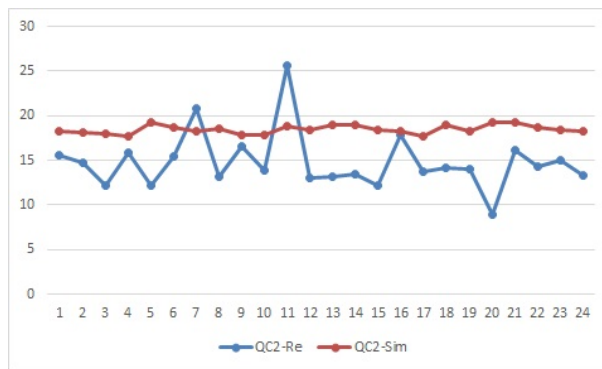


FIGURE 4.4 – Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement du QC2

- **Interprétation**

D'après la figure 4.3, on remarque que les variations entre les productivités moyennes retrouvées par la simulation sont presque stables, par contre les résultats de la réalité varient d'une période à une autre. Mais la productivité moyenne obtenue par la simulation est très proche de celle donnée par les données réelles.

D'après la figure 4.4, on constate que les résultats de la simulation sont différents des données réelles. La productivité obtenue par simulation est la productivité dans le cas où la durée d'attente des clients du serveur grue de quai tend vers zéro.

Comparaison des résultats pour la Grue Lihber

Les figures 4.5, et 4.6 représentent les productivités (Nombre de conteneur/heure) réelles et simulées durant les processus de débarquement et d'embarquement avec la grue Lihber.

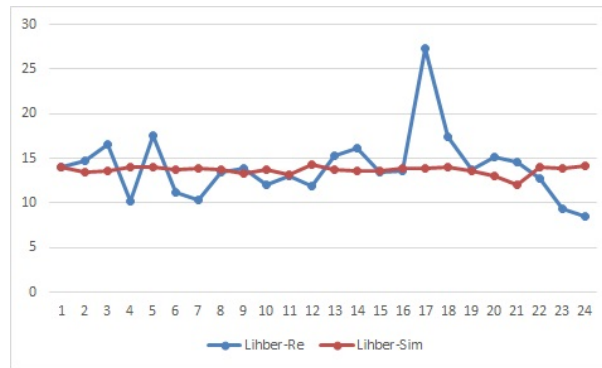


FIGURE 4.5 – Productivité réelle et simulée des opérations débarquement de la grue Lihber

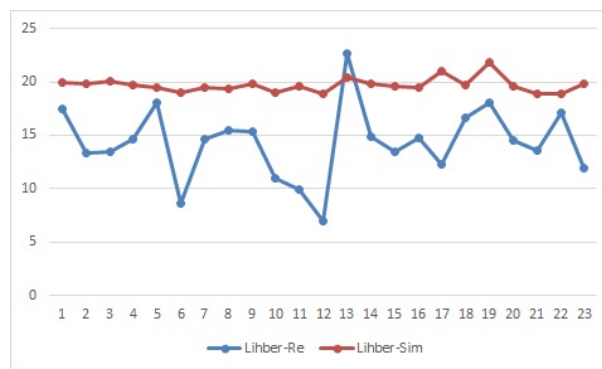


FIGURE 4.6 – Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement de la grue Lihber

- **Interprétation**

D'après la figure 4.5, on remarque que les résultats de la simulation sont presque stables, mais ceux de la réalité varient. La productivité moyenne obtenue par la simulation est presque identique à celle obtenue par les données fournies par la direction des Opérations.

D'après la figure 4.6, les résultats de la simulation sont différents de ceux obtenus par les données de la direction des opérations. La productivité moyenne obtenue par la simulation tourne autour du maximum de TCs qu'une grue du Quai peut traiter par heure, car la zone vide est considérée comme source infinie de conteneurs vides.

Comparaison des résultats pour la Grue MHC

Les figures 4.7, et 4.8 représentent les productivités (Nombre de conteneur/heure) réelles et simulées durant les processus de débarquement et embarquement avec la Grue MHC.

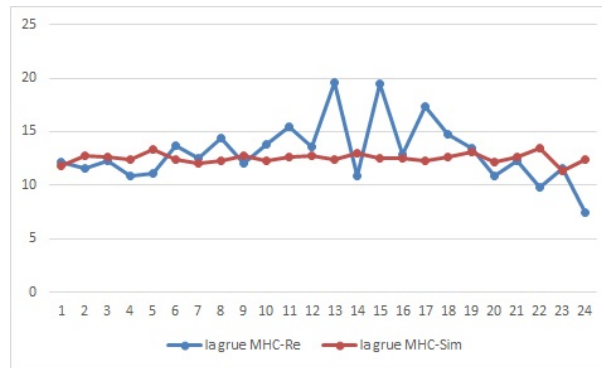


FIGURE 4.7 – Productivité réelle et simulée des opérations de débarquement de la grue MHC

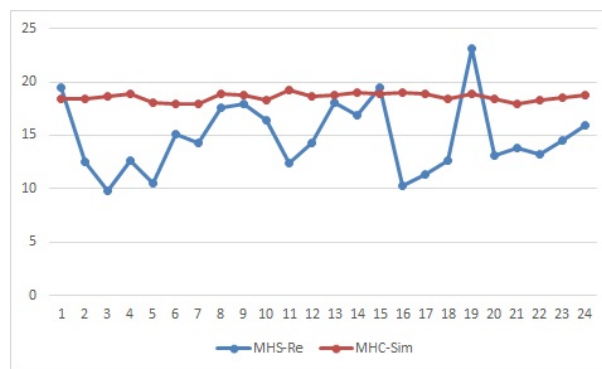


FIGURE 4.8 – Productivité réelle et simulée des opérations d'embarquement de la grue MHC

- **Interprétation**

D'après la figure 4.7, on remarque que les résultats de la simulation sont presque stables, mais ceux de la réalité varient. La productivité moyenne obtenue par la simulation est presque identique à celle obtenue par les données fournies par la direction des opérations.

D'après la figure 4.8, les résultats de la simulation sont toujours différents de ceux obtenus par les données de la direction des opérations. La cause est la même que nous avons citée dans les cas des autres grues de quai durant le processus d'embarquement.

4.1.4 Taux réel d'utilisation des grues de quai

Suit aux résultats obtenus précédemment sur la productivité des ressources de manutention (grues de quai), nous avons jugé utile de calculer leur taux réel d'utilisation afin de déduire leur taux de non occupation durant les deux processus débarquement et embarquement.



FIGURE 4.9 – Taux d'occupation des grues de quai lors du processus de débarquement

La figure 4.9 montre le pourcentage d'occupation des grues de quai lors du processus de débarquement. Ainsi, nous pouvons mesurer les indicateurs de performances "taux d'occupation" et "taux de non activité".

L'indicateur de performance "taux d'occupation des engins de manutention" représenté dans la figure 4.9, montre que les grues sont utilisées entre 60% et 70%, le QC2 est occupé à 73% lors du processus de débarquement, 27% est de non occupation. Le taux d'occupation des autres moyens de manutention est de 65% pour la grue Lihber, 64% pour la grue MHC, et 60% pour le QC1.

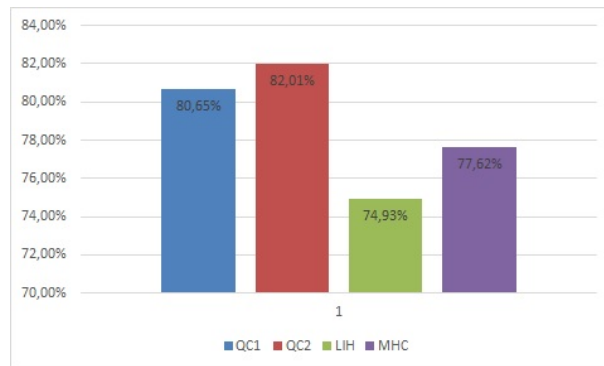


FIGURE 4.10 – Taux d'occupation des grues de quai lors du processus d'embarquement

La figure 4.10 montre le pourcentage d'utilisation des grues de quai lors du processus d'embarquement. Ainsi, nous pouvons mesurer les indicateurs de performances "taux d'occupation" et "taux de non occupation".

Le "taux d'occupation des engins de manutention" lors du processus d'embarquement est plus élevé que celui du processus de débarquement. Le taux d'occupation des engins dans le cas d'embarquement est de 82% pour le QC2, 80% pour le QC1, 75% pour la grue Lihber, et 77% pour la grue MHC.

Durant cette comparaison, on peut constater que les ressources ne sont pas exploitée d'une manière optimale ce qui constitue un inconvénient majeur. Ce point va être pris à la prochaine

section.

4.2 Nombre de Mols nécessaire pour chaque grue de Quai

Dans cette section, nous nous intéressons à la détermination du nombre des Mols nécessaires pour chaque grue de quai, tout en considérant la durée de services des clients (Mols), ainsi que les durées d'attente des serveurs (grue de Quai).

Il est clair que plus le nombre de clients Mols est élevé, plus le taux d'occupation du serveur est grand. Une attente plus grande des serveurs entraîne une attractivité amoindrie qui se traduit par un manque à gagner. Par conséquent, le problème est de trouver le nombre optimal des mols à utiliser pour chaque grue de quai de sorte les d'attentes de ces derniers sera le moins possible. Le but final de cette variation est de maximiser le taux d'occupation des grues de quai qui sont les plus coûteuses.

Pour atteindre cet objectif, nous allons essayer de trouver le nombre de Mols à affecter pour chaque grue de quai durant les processus de débarquement et embarquement, afin d'assurer la continuité de service des grues de quai. La variation du nombre de Mol dans cette section s'arrête à 6 Mols, car la capacité de la file d'attente des Mols devant le serveur grue de quai se limite à 6 clients.

4.2.1 Le processus de débarquement

Débarquement avec le Quay Crane1 Après plusieurs ronds de simulation, les résultats qu'on a obtenus sont données dans le tableau 4.5.

Nbr-Mols	Nbr-TCs/heure	Temps-moy-attQC1	Temps-moy-débarq-QC1
3	11.9	37.47	80.87
4	13.67	23.15	65.57
5	17.25	12.45	52.19
6	18.1	5.25	49.19

TABLE 4.5 – Variation des performances du service fournie par le QC1 en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900 TCs.

- **Interprétation**

On remarque que l'affectation de 3 Mols pour le QC1 n'assure pas la continuité du service de ce dernier lors du processus de débarquement, ce qui engendre un durée moyenne d'attente considérable du serveur (37.47 heures d'attente durant 80.87 heures de service). L'augmentation du nombre de mols à 4 nous donne une productivité de 13.67 TCs/heure avec une attente réduite à 23.15 heures, et l'affectation d'un autre Mol de plus engendre une augmentation de 3.58 TCs/heure avec une durée moyenne d'attente totale réduite. Cette durée atteint 5.25 heures à l'utilisation du sixième Mol avec une productivité de 18.1 TCs/heure.

Débarquement avec le Quay Crane2 Après plusieurs ronds de simulation, les résultats qu'on a obtenus sont récapitulés dans le Tableau 4.6.

Nbr-Mols	Nbr-TCs/heure	Temps-moy-attQC2	Temps-moy-débarqQC2
3	14.4	16.75	62.5
4	17.57	5.60	51.50
5	18.97	0.67	47.43

TABLE 4.6 – Variation des performances du service fournie par le QC2 en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900 TCs.

- *Interprétation*

On remarque que l'affectation de 3 Mols pour le QC2 lors du processus de débarquement nous donne une productivité de 14.4 TCs/heure, une productivité qui est supérieure à celle du QC1, avec une durée moyenne d'attente qui s'accumule à 16.75 heures durant 62.5 heures de service. L'emploi d'un quatrième Mol nous donne un résultat de 17.57 TCs/heure avec un temps moyen d'attente de 5.60 heures. Le dernier se minimise à 0.67 heure à l'emploi du cinquième Mol avec une productivité qui se stabilise à 18.97 TCs/heure.

Débarquement avec la grue Lihber Après plusieurs ronds de simulations, les résultats qu'on a obtenus sont dans le Tableau 4.7.

Nbr-Mols	Nbr-TCs/heure	Temps-moy-att Stackers	Temps-moy-débarq Lih
3	13.90	27.24	65.7
4	15.2	20.2	58.24
5	17.32	14.13	50.46
6	18.58	9.57	48.2

TABLE 4.7 – Variation des performances du service fournie par la grue Lihber et les durées moyennes d'attentes en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d'un navire de capacité de 900TCs.

- *Interprétation*

Le tableau 4.7 montre que l'affectation de 3 Mols pour la grue Lihber lors du processus de débarquement nous donne une productivité de 13.9 TCs/heure avec une durée moyenne d'attente du Stackers qui s'accumule à 27.24 heures durant 65.7 heures de service. L'emploi d'un quatrième Mol nous donne un résultat de 15.2 TCs/Heure, la productivité atteint une moyenne de 18.58 TCs/Heure dès l'emploi du sixième Mol avec un temps moyen d'attente du Stackers égale à 9.57 Heures.

Débarquement avec la grue MHC Après plusieurs ronds de simulation, les résultats qu'on a obtenus sont données le Tableau 4.8.

Nbr-Mols	Nbr-TCs/heure	Temps-moy-att Stackers	Temps-moy-débarq MHC
3	12.6	25.6	71.47
4	13.75	19.9	65.7
5	15.95	14.63	56.44
6	17.5	10.53	51.29

TABLE 4.8 – Variation des performances du service fournie par la grue MHC et les durées moyennes d’attentes en fonction du nombre de Mols utilisés lors du débarquement d’un navire de capacité de 900TCs.

- *Interprétation*

D’après tableau 4.8 on remarque que l’affectation de 3 Mols pour la grue MHC lors du processus de débarquement nous donne une productivité de 12.6 TCs/heure avec une durée moyenne d’attente du Stackers qui s’accumule à 25.24 heures durant 71.47 heures de service. L’emploi d’un quatrième Mol nous donne un résultat de 13.75 TCs/heure, la productivité atteint une moyenne de 17.5 TCs/heure dès l’emploi du sixième Mol avec un temps moyen d’attente du Stackers égal à 10.57 heures.

Afin d’avoir une meilleure illustration sur les résultats que nous avons obtenus, nous avons effectué plusieurs simulations pour déterminer le taux d’utilisation de chacune des grues de quai lors du processus de débarquement. Les résultats sont présentés dans la figure 4.11.

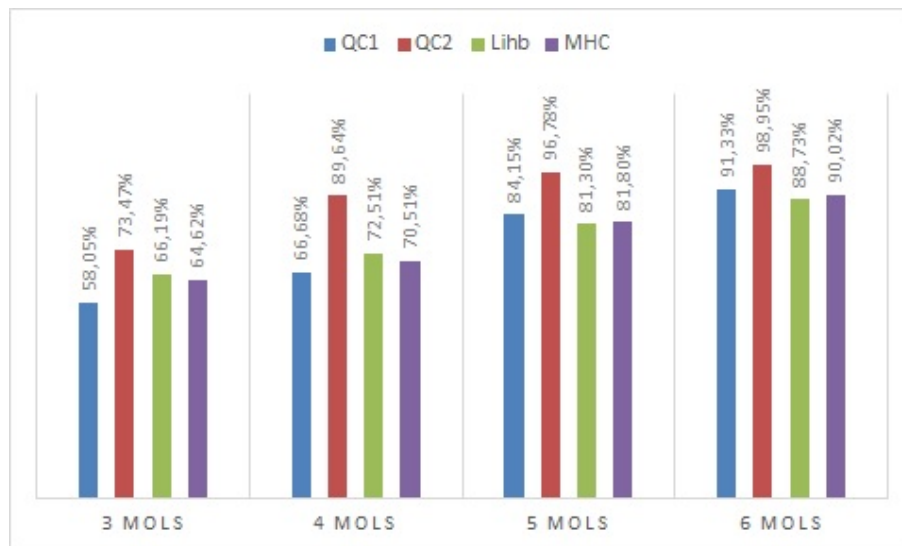


FIGURE 4.11 – Taux d’occupation des ressources en fonction du nombre des Mols durant le processus de débarquement

- *Interprétation*

D’après la figure 4.11, on constate que le taux d’occupation des ressources (grues de Quai) durant le processus de débarquement augmente en fonction du nombre de Mols utilisé.

Par exemple la grue MHC, son taux d'utilisation est de 64.62% avec trois Mols, ce taux augmente à 90.2% dans le cas d'augmentation du nombre des Mols à 6. Le taux de service des grues de quai diffère selon d'une grue à une autre. D'après le tableau 5.6 la productivité du QC2 atteinne un pourcentage de 96.78 avec 5 Mols, hors que les autres grues du quai ne dépassent pas les 90%.

D'après les résultats que nous avons obtenus dans les tableaux 5.5, 5.6, 5.7, et 5.8 et la figure 4.11, le taux d'utilisation des grues de quai sont remarquables avec l'affectation de 5 à 6 Mols à chacune des grues de débarquement, et l'utilisation d'un nombre plus de 6 Mols par moyen entraine une saturation dans la zone de stockage, et une saturation sur le quai. Donc le nombre Mol nécessaire au processus de débarquement pour chaque grue de quai est de 6 Mols. Ce nombre maximise le taux d'occupation des ressources durant le processus de débarquement.

Le processus embarquement

Les résultats obtenus par l'exécution de simulation pour le processus d'embarquement dans le cas d'une source infinie des TCs vides est représenté dans le tableau 4.9.

	QC1	QC2	Lihber	MHC
Nbr-Mols	3	3	3	3
TCs/Heure	16.35	16.80	17.26	16.50
Nbr-Mols	4	4	4	4
TCs/Heure	18.30	18.75	20.03	18.37
Nbr-Mols	5	5	5	5
TCs/Heure	18.29	18.77	20.01	18.43

TABLE 4.9 – Performances des grues de quai lors du processus d'embarquement en fonction du nombre des Mols

- *Interprétation*

On remarque que l'utilisation de 3 Mols par chaque moyen de débarquement nous donne une productivité de 16 à 17 conteneurs par heure pour toutes les grues de quai, et l'emploi d'un quatrième Mol engendre une augmentation entre deux et trois conteneurs par heure pour chacune des grues de quai. En effet, à partir quatrième Mol, le nombre de clients traités ne dépend que de la productivité des grues du quai.

Afin d'avoir une meilleure illustration sur les résultats obtenus (tableau 4.9), on a eu recours à la représentation graphique donnée par la figure 4.12.

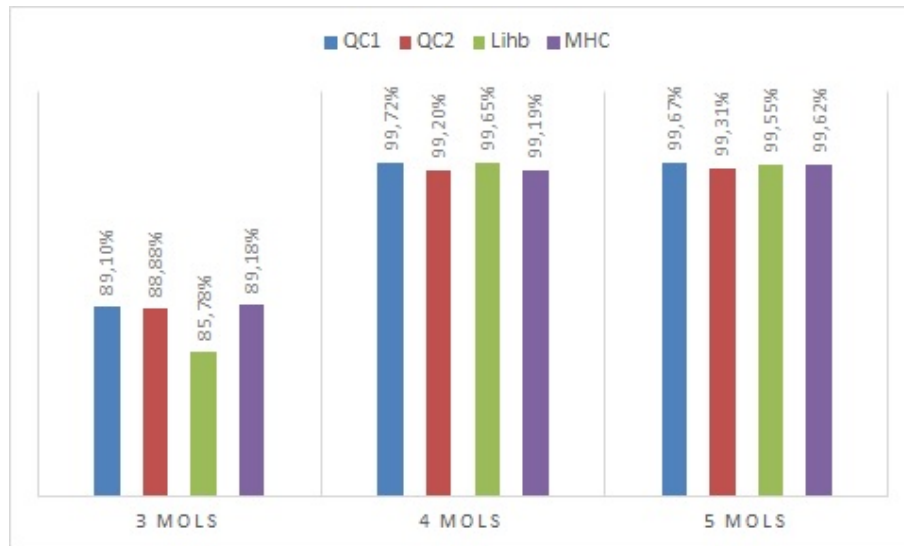


FIGURE 4.12 – Taux d’utilisation des ressources en fonction du nombre de Mols utilisés durant le processus d’embarquement

- *Interprétation*

On remarque que le taux d’occupation des grues de quai augmente en fonction du nombre de Mols utilisés. Cependant, à partir du quatrième Mol, le taux d’occupation tend vers la productivité maximale des grues de quai. On constate que le taux d’occupation des serveurs dépasse les 85% dans le cas de trois Mols, et atteint 99% pour toutes les grues à l’utilisation du quatrième Mols. Ce qui est expliqué par le fait que la probabilité pour que les grues de quai soient occupées à l’instant d’arrivée d’un du cinquième client est très grande.

D’après les résultats que nous avons obtenus dans le tableau 4.11 et la figure 4.12, le taux d’occupation des ressources (grues de quai) avec 5 Mols est le même obtenu avec 4, donc le nombre optimal des Mols à acheminer pour chacune des ressources de manutention lors du processus d’embarquement est 4 dans le cas d’une source infinie des TCs vides.

4.3 Influence de la variation du Nombre de Mols lors du processus de débarquement sur la saturation au niveau des blocs de stockage

Dans cette partie, nous allons voir l’impact de l’augmentation du nombre de Mols et son influence sur la saturation de la zone de stockage. Pour déterminer le nombre optimal qui n’influencent pas sur la saturation du parc de stockage.

Nous avons sommé les heures de travail de toutes les grues de quai durant 2 ans, et nous avons trouvé que BMT emploie en moyenne deux grues de quai continuellement sur une période d’une année. Nous avons calculé la moyenne des productivités des grues de quai pour avoir un résultat proche de celui de la réalité.

nbr-Mol	Nbr-TCs-debaq	Nbr-TCs-liv
3	82668	94646
4	92191	99600
5	100337	98400
6	109017	97300

TABLE 4.10 – Nombre de conteneurs débarqué et livré en fonction du nombre de Mols sur une période d’une année.

Dans le tableau 4.12, la première colonne représente le nombre de Mols affecté à chacune des grues du quai, le nombre de Tcs débarqué et livrer est représenté respectivement dans les colonnes 2 et 3.

• *Interprétation*

Les résultats de la simulation montrent que :

- Avec l’affectation de 3 Mols pour chacune des grues de quai, nous avons obtenu un nombre de 82668 TCs débarqués par an, ainsi qu’une capacité d’effectuer 94646 livraisons durant une année.
- Avec 4 Mols la moyenne de TCs débarqué ne dépasse pas la capacité du nombre de TCs livré, une moyenne de 92191 TCs débarqués contre une capacité de 99600 livraisons.
- Avec 5 et 6 Mols, nous avons obtenu une moyenne de TCs débarqués supérieure à celle de TCs livrés.

Afin d’avoir une meilleure illustration sur les résultats obtenus, on a eu recours à la représentation graphique donnée par la figure 4.13.

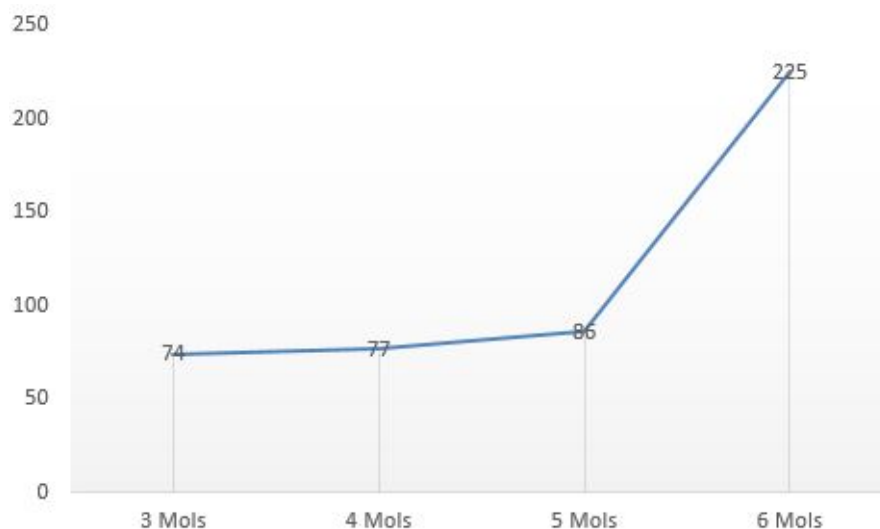


FIGURE 4.13 – Taux de saturation du parc en fonction du nombre de Mols utilisé par une grue du quai.

• *Interprétation*

Le taux de saturation actuel au niveau du parc à conteneur plein de l'entreprise BMT est à 74 %, et d'après les résultats obtenus dans la figure 4.13, on remarque que l'augmentation du nombre de Mols à 4 par grue de quai n'influe pas sur la saturation du parc plein, ce qui est expliqué dans le tableau 4.13 par la capacité moyenne de livraison qui est supérieure à la moyenne des conteneurs débarqués avec 4 Mols.

Par contre, on remarque une variation dans le taux de saturation du parc qui augmente à 84 % avec l'utilisation de 5 Mols, et d'après le tableau 4.13, on constate que la moyenne des TCs débarqués dépasse la capacité moyenne des livraisons annuelles, avec une différence qui ne dépasse pas la capacité de stockage du parc.

L'augmentation du nombre de Mols à 6 durant une année nous donne une saturation de 225%. Donc on conclue que l'utilisation de 6 Mols par grue de quai n'est pas recommandée. donc le nombre optimal à affecter pour chaque grue du quai durant le processus de débarquement est 5.

4.4 Nombre des RTGs nécessaire

Rappelons que les RTGs s'occupent du déchargement des Mols provenant du quai lors du processus de débarquement, et des clients finaux provenant de l'extérieur. Ainsi, si un Mol se présente durant le service d'un client final par l'RTG, le Mol va se mettre en attente jusqu'à la fin de service du client final. Par conséquent la durée de rotation des Mols est composée de :

- La durée de transfert [quai-bloc].
- La durée d'attente devant le bloc de stockage.
- La durée de service par l'RTG.
- La durée de retour [bloc-quai].

C'est pour cela, que nous nous intéressons dans cette section à l'impact de la variation du nombre des RTG sur la livraison aux clients finaux et sur les durées de rotations des Mols durant le processus de débarquement, ainsi que sur la saturation du terminal en terme des camions des clients finaux.

4.4.1 Comparaison des résultats de la simulation et ceux de la réalités

A fin de valider les résultats de la simulation, nous avons procédé à la comparaison entre les résultats de la simulation et la réalité. Nous avons traité les données qui nous ont été fournies par la direction des opérations qui datent des deux mois Avril et Mai 2016, et simulé plusieurs ronds, afin de comparer des deux sources.

Nbr-RTG	Liv-TCs/Shift	Déch-TCs/Shift
5	114.38	72.43

TABLE 4.11 – Productivité réelle des RTGs par shift.

nbr-RTG	Liv-TCs/Shift	Déch-TCs/Shift
5	112.56	78.94

TABLE 4.12 – Productivité simulé des RTGs par shift.

- *Interprétation*

D'après les résultat des Tableaux 4.11 et 4.12, on remarque que les résultats de la simulation sont proches de ceux de la réalité concernant le nombre moyen de livraisons par shift de travail. Pour le nombre de conteneurs déchargés on remarque que la moyenne donnée par la simulation est plus grande que celle de la réalité qui est dû à la négligence des temps d'ouvertures et fermetures des cales durant les processus d'embarquement et de débarquement.

Variation du nombre des RTGs

Dans cette partie, l'objectif est de varier le nombre des RTGs pour voir l'impact de cette variation sur les livraisons et débarquement des navires.

nbr-RTG	Liv-TCs/Shift	Moy-liv TCs/RTG
5	112.56	22.4
6	112.56	18.76
7	112.56	16.08
8	112.56	14.07

TABLE 4.13 – Variation des performances du service fournie par les RTGs en fonction du nombre des RTGs utilisées.

- *Interprétation*

On remarque que l'utilisation de cinq RTGs permet de traiter en moyenne 112 clients finaux durant un shift de travail avec une moyenne de 22.4 livraisons pour chaque RTG, et l'emploi d'une sixième engendre une moyenne de 18.76 livraisons par Shift. Cette diminution atteinne une moyenne de 14.07 livraisons par shift à l'utilisation d'une huitième RTG.

En effet, plus le nombre des RTGs augmente plus les moyennes de livraison par RTG diminuent. Cette diminution du taux d'occupation des serveurs RTG peut être exploitée par l'augmentation du nombre de livraison durant un shift de travail pour réduire la saturation des files d'attente des camions des clients finaux, un second choix est d'accélérer le processus de débarquement des navires en augmentant le nombre de Mols déchargés par chacune des RTGs.

La diminution du taux de saturation est illustrée par la figure 4.14.

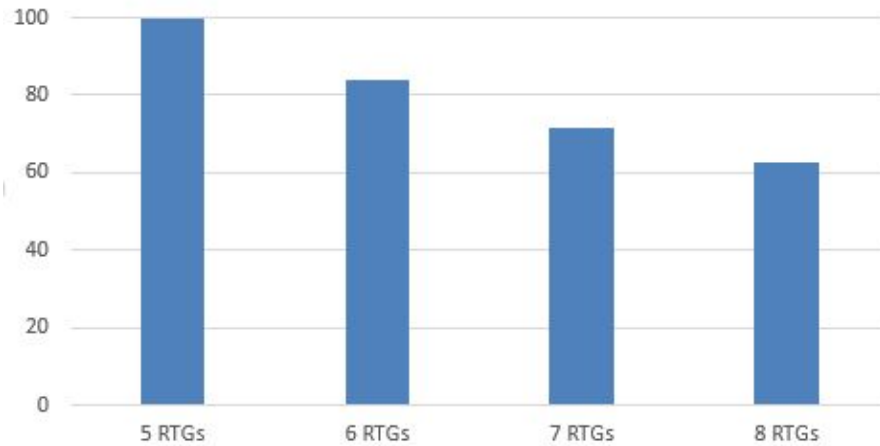


FIGURE 4.14 – Taux d'utilisation de chaque RTG en fonction du nombre des RTGs

- *Interprétation*

On remarque que le taux d'occupation de chaque RTGs lors de l'emploi de 5 RTGs est à 100%, ce taux d'occupation diminue à 83.75% avec 6 RTGs. Cette diminution atteint un pourcentage de 62.81 à l'utilisation de huit RTGs.

En effet, on remarque d'après le tableau 4.12 et la figure 4.13 que le taux d'utilisation des RTGs varie selon le nombre des RTGs utilisé, ce qui explique bien la diminution du taux d'occupation en gardant la même moyenne de livraison par shift.

En analysant les résultats obtenus, il s'avère que l'utilisation de plus de 5 RTGs est recommandée durant les Shifts de livraison. En effet l'emploi de 5 RTGs donne une saturation de 100% sur les trois Shifts de livraison, et une saturation au niveaux des blocs de stockage des conteneurs avec les camions des clients finaux, ce qui influe sur les durées de rotations des Mols lors du processus de débarquement des navires. Cependant l'augmentation du nombre d'RTGs est recommandée pour accélérer le processus de livraison et assurer une fluidité durant le processus de débarquement.

4.5 Comparaison entre les durées moyennes d'activité des grues du quai avec la variation du nombre de Mols

Après avoir obtenu le nombre de Mols sur lequel on peut varier, nous avons effectué une étude comparative entre les durées moyennes d'activité des différentes grues de quai, après l'impact de la variation du nombre de Mols affectés sur la durée de séjour du porte-conteneurs au sein du quai.

Nous avons simulé sur plusieurs ronds un exemple de traitement d'un porte-conteneurs d'une capacité de 900 TCs, avec les différentes grues du quai, et en variant le nombre de Mols. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 4.14.

Grue	Nbr-Mol	Temps-moy débarq	Temps-att moy- débarq	Temps-moy embarq	Temps-moy-serv
QC1	3	80.85	37.39	49	129.86
QC2		62.66	10.82	45.7	107.96
G-Lihber		64.88	27.01	49.01	113.89
G-MHC		71.3	25.57	47.41	118.71
QC1	4	65.86	22.41	49.05	114.91
QC2		51.49	4.82	46.42	97.42
G-Lihber		58.2	19.37	48.97	107.17
G-MHC		65.95	20.17	47.52	110.25
QC1	5	55.47	12.35	49.01	107.67
QC2		47.39	0.7	45.7	96.4
G-Lihber		51.92	14.24	49.03	99.37
G-MHC		56.58	10.47	47.37	101.95

TABLE 4.14 – Durée moyenne d’activité de chaque grue de quai en fonction du nombre des Mol.

- *Interprétation*

On remarque d’après les résultats obtenus par la simulation, que l’augmentation du nombre de Mols à 4 par grue du quai permet de réduire la durée de séjour du navire au sein du quai. Cette augmentation permet de réduire la durée de séjour du porte-conteneurs au sein du quai avec 15 Heures dans le cas d’utilisation du QC1, 10 heures dans cas d’utilisation du QC2, 7 heures dans le cas de la grue Lihber, et de 5 heures dans le cas d’utilisation de la grue MHC.

L’augmentation du nombre de Mols à 5, nous permet de réduire la durée de séjour du porte-conteneurs au sein du quai avec 25 heures dans le cas d’utilisation du QC1, 15 heures dans le cas d’utilisation du QC2, 12 heures dans le cas d’utilisation de la grue Lihber, et de 15 heures dans le cas d’utilisation de la grue MHC.

On conclut que le QC2 nous donne le meilleur rendement en terme de temps moyen de traitement d’un navire, par rapport aux autres grues de quai, une donne la durée de séjour minimal du porte-conteneurs au sein du quai par rapport aux autres grues de quai. En deuxième position nous avons trouvé la grue Lihber nous donne un rendement meilleur par rapport aux deux grues du quai (QC1, (grue MHC)), en troisième position on trouve la grue MHC, et dans la dernière position la grue MHC.

4.6 La combinaison optimale des Grues de quai durant le traitement d’un navire

Dans cette section, nous nous intéressons à la détermination de la combinaison optimale des ressources de manutention à affecter pour le traitement d’un porte-conteneurs, tout en considérant toutes les combinaisons possibles et leurs influences sur la productivité, ainsi que sur la durée

moyenne de séjours du navire au sein du quai. Dans cette étude, nous avons fixé le nombre de Mols utilisé lors du débarquement à 3, car c'est le cas qui se présente le plus souvent avec les moyens actuels de l'entreprise BMT.

Pour atteindre cet objectif, nous avons simulé sur plusieurs ronds pour voir qu'elle est la combinaison qui donne une durée moyenne de séjour minimale. Les résultats que nous avons obtenus sont représentés dans le tableau 4.15.

Combinaison	Temps-débarq	Temps-att-débarq	Temps-embarq	Temps-moy-d'activité
QC1-QC2	37.50	16.98	25.03	62.53
QC1-G Lihb	38.12	17.4	25.87	63.99
QC1-G MHC	38.35	17.82	25.54	63.89
QC2-G Lihb	34.78	13.63	22.89	57.5
QC2-G MHC	37.24	13.78	25.78	63.02
G Lihb-G MHC	36.69	13.63	25.73	62.65

TABLE 4.15 – Durées moyennes de traitement en heure d'un porte-conteneurs de capacité de 900 TCs avec les différentes combinaisons des grues de Quai.

Dans le tableau 4.15

- La première colonne, représente les différentes combinaisons des grues de quai.
- La deuxième colonne, représente le temps moyen du processus de débarquement.
- La troisième colonne, représente le temps moyen d'attente des grues de quai durant le processus de débarquement.
- La quatrième colonne, représente le temps moyen d'embarquement.
- La cinquième colonne, représente la durée moyenne d'activité des grues de quai durant les deux processus débarquement et embarquement.

• *Interprétation*

D'après les résultats de la simulation représentés dans le tableau 4.15, on remarque que la durée moyenne de traitement qui comporte les deux processus le débarquement et l'embarquement d'un porte-conteneurs de taille de 900 TCs, tourne autour de 62 à 64 heures pour les différentes combinaisons des grues de quai. Sauf la combinaison Quay Crane2 - Grue Lihber qui est d'une durée moyenne de 57.5 heures.

On conclut, d'après les résultats obtenus que la combinaison (Quay Crane2 - Grue Lihber) permet de nous réduire la durée de séjour d'un navire au quai avec une durée de 5 heures par rapport aux autres combinaisons, donc (Quay Crane2 - Grue Lihber) est la combinaison optimale.

Conclusion

À partir des résultats obtenus dans ce chapitre, on peut conclure que le nombre optimal de Mol à acheminer à une grue de quai est de 5 lors du processus de débarquement, ce nombre donne une augmentation du taux de saturation du parc des TCs plein à 84%. Cette augmentation nous donne des productivités améliorées des grues du quai, 17.25 TCs/heure pour le QC1, 18.97 TCs/heure pour le QC2, 17.32 pour la grue lihber et 15.95 TCs/heure pour la grue MHC. Ces résultats permettent de maximiser le taux d'occupation des ressources de débarquement sans avoir un effet négatif sur le parc du stockage des TCs pleins.

Pour le processus d'embarquement, on peut conclure que le nombre optimal de Mol à affecter pour chacune des grues de quai est de 4 Mols. Dans notre cas nous avons considéré que la zone de stockage des TCs vides est infinie, ce qui nous a donné la productivité maximale des différentes grues de quai, 18.30 TCs/heure pour le QC1, 18.75 TCs/heure pour le QC2, 20.3 TCs/heure pour la grue lihber, et qui est de 18.43 TCs/heure pour la grue MHC.

Concernant le nombre des RTGs, on peut conclure que l'augmentation du nombre des RTGs réduit le taux de service des RTGs durant les shifts de livraison ce qui pourra être exploité en deux manières, soit l'accélération du processus de débarquement en déchargeant les Mols, et la deuxième perspective est d'accélérer le processus de livraison pour réduire la saturation des camions des clients finaux qui se trouvent devant les blocs de stockage.

À la fin, nous avons effectué deux comparaisons, la première consiste à déterminer le classement des grues de quai par leurs rendements, ainsi que l'influence de la variation du nombre de Mols sur leurs productivités et la durée de séjour du navire au sein du quai. La deuxième consiste à déterminer la combinaison optimale de deux grues de quai qui donne un rendement maximal et bien évidemment la durée de séjours minimale des navires au sein du quai, la combinaison qu'on a trouvée est (Quai Crane2-grues Lihber).

Conclusion générale

Nous nous sommes intéressés à développer une démarche permettant de modéliser, simuler et évaluer les performances des processus d'une partie de la chaîne portuaire et plus particulièrement celle du terminal à conteneurs de BMT, afin d'obtenir des modes performants de débarquement, embarquement et livraison des conteneurs au regard des indicateurs de performance que nous avons définis.

Sur l'aspect pratique, nous avons déterminé le nombre optimal de camions remorqueurs à affecter aux grues de quai lors des processus débarquement/embarquement, afin de minimiser les durées d'attente de ces derniers lors du fonctionnement. Il s'agit de dimensionner le nombre de ressources (camions remorqueurs, RTGs) et de déterminer le nombre optimal à exploiter. Par ailleurs, un simulateur a été conçu pour : calculer le temps moyen de traitement d'un porte-conteneurs, le temps nécessaire pour le débarquement, le temps moyen d'attente de la grue de quai durant le service de débarquement, le temps moyen nécessaire pour l'embarquement, et le nombre moyen de conteneurs livrés aux clients finaux durant le temps de traitement d'un porte-conteneurs.

L'étude effectuée démontre que :

- Le nombre optimal de Mols à acheminer à une grue de quai durant le processus de débarquement est de 5 Mols. Cette augmentation engendre un taux de saturation de 84 % du parc de stockage des conteneurs pleins.
- Le nombre optimal de Mols à acheminer à une grue de quai durant le processus d'embarquement est de 4. Ce nombre assure la continuité de service de la grue de quai dans le cas d'une source infinie des TCs vides.
- L'augmentation du nombre des RTGs durant les shifts de livraison aux clients finaux, permet de réduire le taux de saturation des camions de ces derniers au niveau des blocs de stockage, et l'accélération du processus de débarquement par la minimisation des durées de rotation des Mols.
- L'augmentation du nombre de Mols à 5 par grue de quai garantie une durée de séjour réduite d'une durée moyenne de 20 à 25 heures dans le cas de traitement d'un porte-conteneurs par une seule grue du quai, et de 7 à 14 heures dans le cas d'utilisation de deux grues de quai durant le traitement d'un porte-conteneurs de taille de 900 TCs.
- La comparaison des performances des grues de quai nous a donné le classement suivant : le QC2 en premier lieu, la grue Lihber en second, la grue MHC et le QC1 sont à la troisième et quatrième positions respectivement. Donc la grue de quai la plus performante est le QC2.
- La comparaison des combinaisons des grues de quai en terme de temps moyen de traitement du navire nous a donné la combinaison (QC2-Grue Lihber), sur l'exemple qu'on a déroulé

qui est le traitement d'un porte-conteneurs de 900 TCs. Nous avons trouvé que cette combinaison permet de réduire la durée moyenne de traitement du porte-conteneurs de 5 heures par rapport aux autres combinaisons des grues de quai.

D'autres questions méritent un traitement plus approfondi et nous conduisent à proposer quelques perspectives de recherche :

- Pour la continuité de travaux sur le problème de minimisation des durées d'attente des grues de quai, nous proposons d'enrichir notre simulation avec une évaluation des coûts, afin de voir l'impact d'augmentation des ressources sur les gains de l'entreprise. C'est ce que nous avons prévu de faire au début du travail mais qu'on a pas pu réalisé par contrainte du temps.
- Une autre piste de recherche très importante est d'envisager de simuler le processus de débarquement en prenant en considération l'impact de variation du nombre des RTGs, sur les durées de rotations des camions remorqueurs.
- Nous pourrions également envisager une autre modélisation en faisant introduire les durées de panne et de réparations des différents moyen de manutention.

Des recommandations ont été formulées. Elles visent entre autres l'atteinte des objectifs visés dans le cadre de la présente étude, étant donné que les hypothèses de base sont pour la plupart confirmées. Il urge qu'elles fassent partie d'un vaste programme de gestion à court, à moyen et à long terme du terminal à conteneurs de l'entreprise BEJAIA MEDITERRANEAN TERMINAL.

Bibliographie

- [1] A.Frémont. *Conteneurisation et tiers monde à travers l'exemple de la compagnie général maritime*. Le cahier scientifique du transport, 2000.
- [2] T.Calixte. *Cours d'économie de transport*. Le transport maritime.
- [3] G. Valère. *Gestion des terminaux à conteneurs au port de Cotonou, Bénin*. Mémoire en ligne, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2009.
- [4] S.HOUCINE N.ZAREB. *Détermination du nombre optimale de camions remorqueurs au niveau du terminal à conteneur BMT*. Mémoire de fin d'étude, Département de Recherche Opérationnelle Université de Béjaia, 2009.
- [5] Z. AKKOUCHE A. AMRI. *Gestion optimal des équipements de manutention au niveau du terminal à conteneur BMT*. Mémoire de fin d'étude, Département de Recherche Opérationnelle Université de Béjaia, 2009.
- [6] Le site de BMT. www.bejaiamed.com, 2007.
- [7] Y.MAMMACHE A.ZELLAG. *Evaluation des performances de la Zone Extra Portuaire BMT*. Mémoire d'ingénieur, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, Juin 2011.
- [8] J M. HELARY R.PEDRONO. *Recherche Opérationnelle Travaux dirigés*. Hermann Collection Paris Méthode, 1983.
- [9] L.BOUKIR D.AISSANI. *Approximation dans les systèmes d'attente avec arrivées par groupes*. Mémoire de Magistère, Département de Recherche Opérationnelle Université de Béjaia, 2004.
- [10] T.M. LIBLING J-F. HECHE D. DE WERRA. *Recherche opérationnelle pour ingénieurs*. Tome 2, Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, 2003.
- [11] C. PHAM. *File d'attente simple*. Université de Pau.
- [12] A.REUGG. *Processus Stochastiques*. Presses Polytechniques Romandes, 1989.
- [13] *BRS Alphaliner. Transport maritime et construction navale*. www.brs.paris.com, 2007.
- [14] A.AISSANI D.AISSANI. *Réseaux de files d'attente*. U.S.T.H.B. Alger, 1998.

Annexe

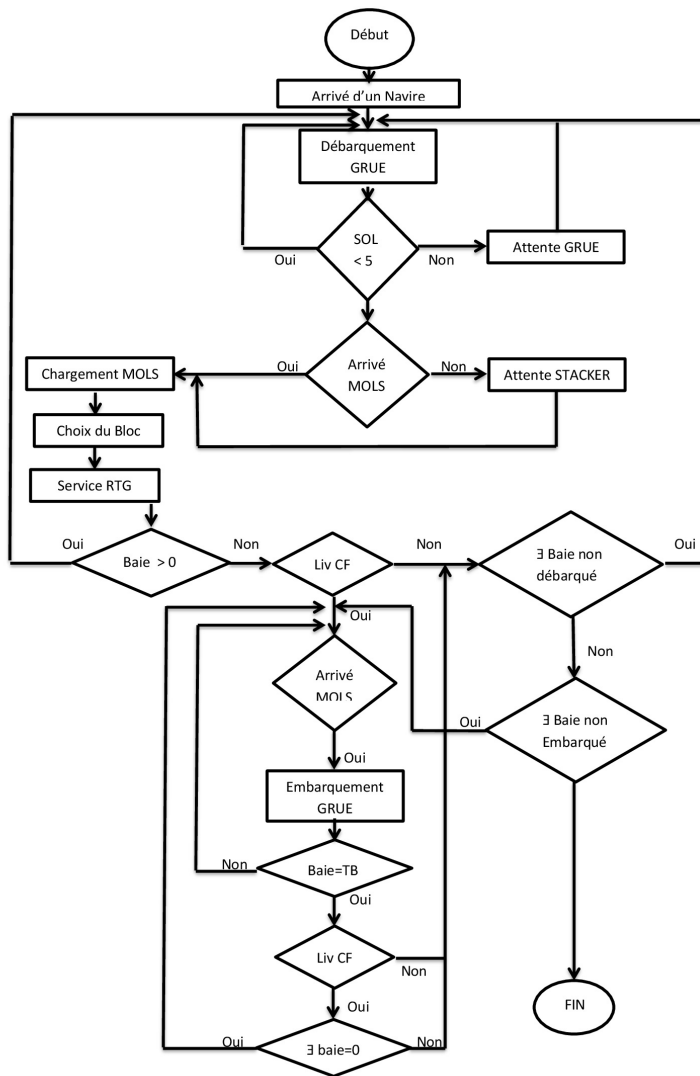


FIGURE 4.15 – Organigramme de déroulement des deux processus d'embarquement et de débarquement pour le QC

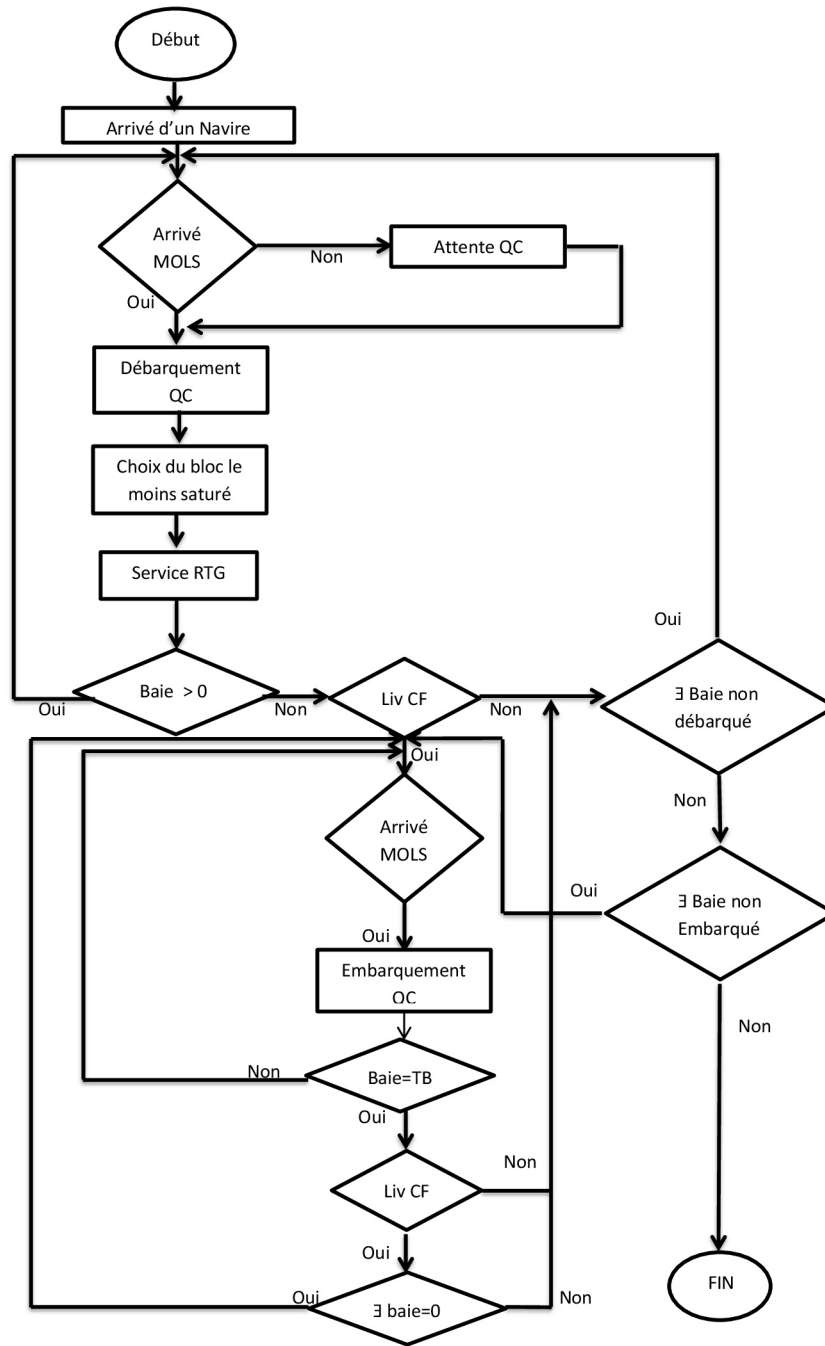


FIGURE 4.16 – Organigramme de déroulement des deux processus d'embarquement et de débarquement pour la grue mobile

Résumé

Avec la croissance économique et la globalisation, le volume des biens transportés par les routes maritimes a considérablement augmenté. La taille des navires démontre ce phénomène, car la première génération avait une capacité de 1700 TEUs (Twenty feet equivalent units) et aujourd'hui a atteint une capacité de 8000 TEUs. Les experts prédisent que la taille des navires continuera à augmenter avec un taux annuel de 25% jusqu'au 2019 (UNCTAD). Dans ce contexte, les terminaux à conteneurs en général et le terminal de BMT en particulier doit être beaucoup plus efficace.

En effet, la compétitivité d'un terminal est déterminée par le succès de différents facteurs de performance, en particulier le temps qu'un navire reste dans le port et le taux de chargement et de déchargement. À cet effet, nos recherches traitent de l'évaluation des performances du terminal à conteneurs de BMT. Elles consistent à optimiser le taux d'occupation des grues de quai les plus coûteuses du terminal à conteneur de BMT. Pour cela il s'agit de modéliser les processus de débarquement/embarquement par les modèles de files d'attente, et de déterminer le nombre optimal de camions remorqueurs à acheminer à une grue de quai lors des deux processus. Une autre recherche a été effectuée dans le but de voir l'impact de l'augmentation des RTGs sur la fluidité des deux processus débarquement et livraison. Enfin, une comparaison entre les combinaison des grues de quai en terme de temps moyen de traitement dans le but de déterminer la combinaison optimale le réduisant. Pour ce faire, nous avons opté pour la simulation à événement discrets.

Mots-clés : *Modèles de files d'attente ; Terminal à conteneurs BMT ; Entreprise Portuaire de Béjaïa EPB ; EVP ; Modélisation ; Optimisation ; Simulation à événement discrets ; EasyFit ; Matlab.*

Abstract

With the economic growth and the globalization, the volume of the goods transported by sea routes has considerably increased. The size of ships demonstrates this phenomenon, because the first generation's ship had a capacity of 1700 TEUs (Twenty feet amounts units) and today reached (affected) a capacity of 8000 TEUs. The experts predict that the size of ships will continue to increase with an annual rate of 25 % until 2019. In this context, containers terminal's in generally and particularly BMT's terminal must be much more effective.

Indeed, The competitiveness of a terminal is determined by the success of various factors of performance, in particular the time of staying of the ships in the port and the rate of loading and unloading. For that purpose, our searches deal with the evaluation of the performances of the BMT's container terminal. They consist in an optimization of the occupation rate of the most expensive quay cranes of the BMT's container terminal. They involves the modelling of the two processes of landing/boarding by queuing systems, and the determination of the optimal number of trucks tug boats to attach to a quay crane during the both processes, other search made with the aim of seeing the impact of increasing the RTG's number on the fluidity of both processes landing and deliveries to customers.

Keywords : *Queuing systems ; Container terminal BMT ; Harbour company of bejaia ; TEUs ; Modeling processes ; Optimization ; Simulation with discreet events ; EasyFit ; Matlab.*