

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département Recherche Opérationnelle



## Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme Master en Mathématiques appliquées  
Option : Modélisation Mathématique et Évaluation des Performances des Réseaux

# Thème

## Évaluation des Performances du Terminal à Bois – Port de Béjaïa



Réalisé par :

M<sup>elle</sup> BELHADJ Nassima & M<sup>r</sup> BEN ABDERRAHMANE Ibrahim

**Président du jury :** M<sup>me</sup> O. LEKADIR M.C.A Université de Béjaïa.  
**Promoteur :** M<sup>r</sup> D. AISSANI Professeur Université de Béjaïa.  
M<sup>me</sup> S. HOCINE M.A.A Université de Béjaïa.  
**Examineurs :** M<sup>r</sup> A. TOUAZI Doctorant Université de Béjaïa.  
M<sup>me</sup> B. TAKHEDMITE M.A.B Université de Bouira.

Juin 2016

# Remerciements

Nous remercions Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Nous remercions vivement notre promoteur *M<sup>r</sup> P<sup>r</sup> Aïssani. D*, pour avoir accepté de nous encadrer, et nous tenons à exprimer notre gratitude à notre Co-promotrice *M<sup>me</sup> Hocine. S*, pour l'honneur qu'elle nous a fait en assurant le suivi scientifique et technique du présent mémoire. Nous la remercions pour sa grande contribution à l'aboutissement de ce travail, et pour s'être montrée disponible.

Nous tenons une place particulière aux personnels de l'EPB, en particulier *M<sup>r</sup> L. Ouatah* de nous avoir aidé à faire notre stage, *M<sup>r</sup> L.Ouaglal* notre encadreur pour sa disponibilité, ses conseils et ses orientations durant notre stage.

Nos remerciements vont aussi à *M<sup>me</sup> LEKADIR. O* pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Nos remerciements s'adresse également à *M<sup>r</sup> TOUAZI. A* et *M<sup>me</sup> TAKHEDMITE. B* pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Table des matières</b>                                      | <b>iv</b> |
| <b>Liste des figures</b>                                       | <b>2</b>  |
| <b>Liste des tableaux</b>                                      | <b>3</b>  |
| <b>Introduction Générale</b>                                   | <b>4</b>  |
| <b>1 Entreprise Portuaire de Béjaïa</b>                        | <b>7</b>  |
| 1.1 Présentation de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa . . . . . | 7         |
| 1.2 Historique . . . . .                                       | 8         |
| 1.3 Situation géographique . . . . .                           | 9         |
| 1.3.1 Implantation du port de Béjaïa . . . . .                 | 10        |
| 1.3.2 Mouillage . . . . .                                      | 10        |
| 1.3.3 Accès du port . . . . .                                  | 10        |
| 1.3.4 Les ouvrages d'accostage : quais [27] . . . . .          | 11        |
| 1.4 Missions et Activités du port . . . . .                    | 11        |
| 1.4.1 Missions de l'EPB . . . . .                              | 11        |
| 1.4.2 Activités de l'EPB . . . . .                             | 11        |
| 1.5 Equipements du port [27] . . . . .                         | 12        |
| 1.6 Les lignes maritimes régulières . . . . .                  | 13        |
| 1.7 L'organisation du travail . . . . .                        | 14        |
| 1.8 L'organisation de l'EPB . . . . .                          | 14        |
| 1.8.1 La Direction Générale (DG) . . . . .                     | 15        |
| 1.8.2 Les Directions Opérationnelles . . . . .                 | 15        |
| 1.8.3 Directions fonctionnelles . . . . .                      | 17        |
| 1.9 Le port en quelques chiffres [26] . . . . .                | 18        |
| 1.9.1 Trafic global . . . . .                                  | 18        |
| 1.9.2 Trafic selon le mode de conditionnement . . . . .        | 19        |
| 1.9.3 Qualité de service . . . . .                             | 19        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 1.9.4    | Mouvement de la navigation . . . . .                            | 19        |
| 1.10     | Les terminaux au port de Béjaïa [26] . . . . .                  | 19        |
| 1.10.1   | Terminal à conteneurs . . . . .                                 | 20        |
| 1.10.2   | Terminal roulier . . . . .                                      | 20        |
| 1.10.3   | Terminal céréalier . . . . .                                    | 20        |
| 1.10.4   | Terminal divers . . . . .                                       | 21        |
| 1.10.5   | L’abri papier . . . . .   | 21        |
| 1.10.6   | Centre de Transit des Marchandises Dangereuses ”CTMD” . . . . . | 21        |
| 1.10.7   | Le terminal à Bois . . . . .                                    | 21        |
| 1.11     | Les concurrents du port de Béjaïa . . . . .                     | 23        |
| 1.11.1   | Le port d’Alger . . . . .                                       | 23        |
| 1.11.2   | Le port de Djendjen . . . . .                                   | 24        |
| 1.11.3   | Le port de Skikda . . . . .                                     | 24        |
| 1.11.4   | Le port d’Annaba . . . . .                                      | 25        |
| <b>2</b> | <b>Files d’Attente</b>  | <b>26</b> |
| 2.1      | Caractérisation et définition des files d’attente . . . . .     | 26        |
| 2.2      | Classification des systèmes d’attente . . . . .                 | 27        |
| 2.3      | Notation de Kendall [7] . . . . .                               | 27        |
| 2.4      | Mesures de performance d’une file d’attente . . . . .           | 28        |
| 2.5      | La formule de Little [7] . . . . .                              | 28        |
| 2.6      | Méthodes d’analyse des systèmes d’attente [13] . . . . .        | 29        |
| 2.7      | Les files d’attente markoviennes . . . . .                      | 30        |
| 2.7.1    | La file d’attente M/M/1 . . . . .                               | 30        |
| 2.7.2    | La file d’attente M/M/m . . . . .                               | 31        |
| 2.7.3    | La file d’attente M/M/m/K . . . . .                             | 32        |
| 2.7.4    | Le modèle d’attente $M^{[X]}/M/1$ [15, 11] . . . . .            | 32        |
| 2.8      | Les files d’attente non markoviennes . . . . .                  | 34        |
| 2.8.1    | La file d’attente M/G/1 [7] . . . . .                           | 34        |
| 2.8.2    | La file d’attente M/G/1/N [14] . . . . .                        | 35        |
| 2.8.3    | La file d’attente G/G/1 [7] . . . . .                           | 35        |
| 2.8.4    | Système de files d’attente avec vacances . . . . .              | 36        |
| 2.9      | Les réseaux de files d’attente . . . . .                        | 37        |
| 2.9.1    | Les caractéristiques d’un réseau de files d’attente . . . . .   | 37        |
| 2.9.2    | Les différents types de réseaux . . . . .                       | 38        |
| 2.9.3    | Les réseaux de Jackson . . . . .                                | 38        |
| 2.9.4    | Les réseaux BCMP [1] . . . . .                                  | 39        |
| 2.9.5    | Les réseaux avec blocage . . . . .                              | 39        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>3</b> | <b>Simulation et Génération des Nombres Aléatoires</b>                                  | <b>41</b> |
| 3.1      | La simulation . . . . .   | 41        |
| 3.2      | Approches de la simulation [12] . . . . .   | 42        |
| 3.2.1    | Simulation à évènements discrets . . . . .  | 42        |
| 3.2.2    | Simulation distribuée . . . . .   | 42        |
| 3.3      | Notions de système, de modèle et de simulation . . . . .                                | 42        |
| 3.3.1    | Etapes de la simulation . . . . .   | 44        |
| 3.3.2    | Concepts liés à la simulation [4] . . . . .   | 46        |
| 3.4      | Génération des nombres aléatoires . . . . .   | 47        |
| 3.4.1    | La méthode des congruences linéaires . . . . .  | 47        |
| 3.4.2    | Méthodes de génération des variables aléatoires . . . . .                               | 48        |
| 3.4.3    | Validation d'un générateur de nombres aléatoires : . . . . .                            | 52        |
| 3.4.4    | Tests d'ajustement . . . . .  | 52        |
| 3.5      | Les résultat (sortie) d'une simulation et analyse Statistique . . . . .                 | 54        |
| 3.5.1    | Cas d'une simulation "comportementale" . . . . .  | 54        |
| 3.5.2    | Cas d'une simulation "terminale" . . . . .  | 54        |
| 3.5.3    | Cas d'une simulation dite " infinie" . . . . .  | 54        |
| 3.6      | Avantages et inconvénients de la simulation . . . . .                                   | 54        |
| <b>4</b> | <b>Modélisation et Simulation</b>   | <b>56</b> |
| 4.1      | Description des principaux mouvements de bois . . . . .                                 | 57        |
| 4.1.1    | L'étape de mouillage . . . . .  | 57        |
| 4.1.2    | Services Accostage . . . . .  | 58        |
| 4.1.3    | Traitement de navires . . . . .   | 58        |
| 4.1.4    | Le transfert, le stockage et la livraison . . . . .                                     | 58        |
| 4.2      | Description des modèles . . . . .   | 58        |
| 4.2.1    | Recueil de données . . . . .  | 58        |
| 4.3      | Description des différents modèles . . . . .  | 59        |
| 4.3.1    | Le processus "Débarquement" . . . . .   | 59        |
| 4.3.2    | Identification des différentes lois de processus de débarquement . . . . .              | 59        |
| 4.3.3    | Le processus stockage . . . . .   | 61        |
| 4.4      | Résolution par simulation . . . . .   | 62        |
| 4.4.1    | Calcul des performances par la simulation . . . . .                                     | 63        |
| 4.4.2    | Calcul des performances en cas de changement de la politique de service . . . . .       | 64        |
| 4.4.3    | Variation du taux d'inter-arrivées . . . . .  | 67        |
| 4.4.4    | Variation du taux d'inter-arrivés avec les deux quais favorisés sans vacances . . . . . | 68        |
|          | <b>Conclusion Générale</b>  | <b>69</b> |

|               |    |
|---------------|----|
| Bibliographie | 70 |
| Annexe        | 73 |

# Table des figures

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.1  | Port de Béjaïa . . . . .   | 8  |
| 1.2  | Infrastructure portuaire . . . . .                                 | 10 |
| 1.3  | Les lignes maritimes régulières . . . . .                          | 14 |
| 1.4  | Organigramme général de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa . . . . . | 15 |
| 1.5  | Terminal à conteneurs . . . . .                                    | 20 |
| 1.6  | Terminal à bois de l'EPB . . . . .                                 | 22 |
| 2.1  | Un système de files d'attente . . . . .                            | 27 |
| 2.2  | Réseau de files d'attente avec blocage . . . . .                   | 40 |
| 3.1  | Modèle de simulation . . . . .                                     | 43 |
| 3.2  | Les étapes de simulation . . . . .                                 | 44 |
| 3.3  | Génération par la méthode de rejet d'une loi Normale . . . . .     | 51 |
| 4.1  | Etat du modèle réel . . . . .                                      | 56 |
| 4.2  | Etat du modèle avec vacance . . . . .                              | 57 |
| 4.3  | Le modèle de processus . . . . .                                   | 59 |
| 4.4  | Organigramme de la simulation . . . . .                            | 63 |
| 4.5  | Table de Kolmogorov-Smirnov . . . . .                              | 74 |
| 4.6  | Ajustement de la loi des inter-arrivées . . . . .                  | 75 |
| 4.7  | Ajustement de la loi de service poste 8 . . . . .                  | 75 |
| 4.8  | Ajustement de la loi de service poste 11 . . . . .                 | 76 |
| 4.9  | Ajustement de la loi de service poste 12 . . . . .                 | 76 |
| 4.10 | Ajustement de la loi de service poste 13 . . . . .                 | 77 |
| 4.11 | Ajustement de la loi de service poste 14 . . . . .                 | 77 |
| 4.12 | Ajustement de la loi de service poste 18 . . . . .                 | 78 |
| 4.13 | Ajustement de la loi de service poste 19 . . . . .                 | 78 |
| 4.14 | Ajustement de la loi de vacance poste 8 . . . . .                  | 79 |
| 4.15 | Ajustement de la loi de vacance poste 11 . . . . .                 | 79 |
| 4.16 | Ajustement de la loi de vacance poste 12 . . . . .                 | 80 |

|   |    |
|---|----|
| 4.17 Ajustement de la loi de vacance poste 13 . . . . . | 80 |
| 4.18 Ajustement de la loi de vacance poste 14 . . . . . | 81 |
| 4.19 Ajustement de la loi de vacance poste 18 . . . . . | 81 |
| 4.20 Ajustement de la loi de vacance poste 19 . . . . . | 82 |

# Liste des tableaux

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Equipements du port . . . . .   | 13 |
| 1.2  | Le trafic global des marchandises . . . . .   | 18 |
| 1.3  | L'attente et le séjour moyen des navires en rade . . . . .                              | 19 |
| 1.4  | Processus du traitement du bois . . . . .   | 23 |
| 4.1  | Ajustement de la loi des inter-arrivées des navires à débarquer . . . . .               | 59 |
| 4.2  | Ajustement de la loi de chaque service de débarquement . . . . .                        | 60 |
| 4.3  | Ajustement de la loi de la vacance de chaque services de débarquement . . . . .         | 60 |
| 4.4  | Les probabilités (p,q) . . . . .  | 61 |
| 4.5  | Ajustement de la loi de la taille des groupes de fardeaux de bois à débarqués . . . . . | 61 |
| 4.6  | Ajustement de la loi de service enlèvement . . . . .                                    | 62 |
| 4.7  | Les performances du terminal dans les conditions actuelles . . . . .                    | 63 |
| 4.8  | Les performances du terminal avec un poste à quai spécialisé . . . . .                  | 64 |
| 4.9  | Les performances du terminal avec deux postes à quai spécialisé . . . . .               | 66 |
| 4.10 | Les performances du terminal avec variation du taux d'inter-arrivées . . . . .          | 67 |
| 4.11 | Les performances du terminal avec variation du taux d'inter-arrivées . . . . .          | 68 |

# Introduction Générale

Les entreprises économiques font face à des changements structurels importants qu'elles doivent bien maîtriser, car leur survie dépendra surtout de leur capacité à s'adapter à ces changements. De nos jours, leur assainissement et leur compétitivités sont devenus des problèmes primordiaux. La stratégie de toute entreprise doit s'articuler dans ce sens.

La chaîne logistique portuaire est un maillon très sensible au sein d'une chaîne logistique globale. 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 marchandises, en tenant en compte 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 est un système complexe où la manutention et le transport de marchandise jouent un rôle crucial. Sa performance dépend de la pertinence des décisions, tant au niveau stratégique et tactique qu'opérationnel. A chaque niveau du processus de décision, 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. La complexité est liée à de nombreuses variables de décision et de contraintes, aux objectifs contradictoires, aux incertitudes et aux informations peu fiables.

Le port de Béjaïa a enregistré une évolution remarquable depuis 2001, dans le cadre du développement des infrastructures portuaires. Une étude et un plan sur cette évolution ont été élaborés par un bureau d'étude et a été actualisé en 2009, compte tenu de l'accroissement du trafic. Le port a enregistré des augmentations importantes du trafic, principalement pour le sucre, les céréales, le ciment, le bois, les oléagineux, les produits métallurgiques et d'autres marchandises [29]. Cette étude a montré un déficit important dans les capacités portuaires d'entreposage et d'accostage, d'où la congestion du port avec un temps d'attente en rade et un temps de séjour à quai en augmentation. Devant cette situation où le port fonctionne en surcapacité, il y a lieu donc d'engager des actions

de construction de nouveaux ouvrages d'accostage pour faire transiter tous ce trafic. Les premières actions de ce plan ont commencé par le déplacement du poste huilier et gazier, la construction d'un quai de 200 mètres linéaires dans le prolongement du nouveau quai, la construction de trois quais de 250 ML et 370 ML . Six nouveaux postes ont été créés de 1284 ML et un terre-plein de 62 ha ont permis de spécialiser le port en terminaux et de porter sa capacité à plus de 15 millions de tonnes hors hydrocarbures [29]. La construction et la réalisation de nouveaux ouvrages d'accostage nécessite encore une meilleure gestion afin de faire face à cette congestion, de désengorger le port et d'améliorer ses prestations envers ses clients et entrer en concurrence avec les autres ports. Une bonne affectation des navires aux postes à quai est nécessaire à l'EPB ( Entreprise Portuaire de Béjaïa).

Le bois qui représente environ 30% du trafic du port marchand dispose d'un terminal et d'une superficie de stockage importante, après avoir été un simple parc jugé inefficace sur le plan qualitatif et quantitatif. L'augmentation du trafic au niveau du terminal à bois du port de Béjaïa et l'élargissement de sa superficie physique ne sont pas directement proportionnelles. Ainsi, l'amélioration de la productivité et le bon fonctionnement du système de débarquement, nécessitent la spécialisation des équipements et doit posséder une configuration qui pourra s'adapter et répondre à la croissance du trafic.

L'importation du bois au sein de l'entreprise portuaire de Béjaïa se fait selon la demande des clients, l'EPB s'encharge du débarquement des fardeaux, de leurs transport vers la zone de stockage et enfin de leurs livraison vers l'extérieur. Le terminal à bois du port de Béjaïa ne dispose pas de postes à quai spécialisés (désignés) pour le débarquement du bois, malgré la remarquable augmentation de son trafic. Le bois est considéré comme tout autre marchandise malgré sa disposition d'une zone de stockage et d'un terminal, Ceci influence négativement sur ce dernier en générale et sur leur processus de traitement en particulier en terme de séjour dans le système, dans la rade et aussi par rapport au séjour des fardeaux dans le parc à bois.

Plusieurs études ont été réalisées pour considérer les problèmes portuaires (cas de l'EPB) [28] :

- Modélisation du Mouvement des Navires du Port de Béjaïa (Entreprise Portuaire de Béjaïa, EPB) en 1998 : L'objectif était de présenter les performances du Port de Béjaïa et d'évaluer la capacité de ce port à faire face à l'augmentation du trafic à court et à moyen termes.
- Prévion du Trafic et Evaluation des Performances du Terminal à Conteneurs de l'EPB : L'augmentation du trafic au niveau du parc à conteneurs du port de Béjaïa et l'élargissement de sa superficie physique ne sont pas directement proportionnels. C'est pourquoi l'amélioration de la productivité du parc et le bon fonctionnement du système de débarquement et d'embarquement nécessitent la spécialisation des équipements et la disponibilité d'une surface d'entreposage pouvant recevoir le nombre

débarqué, et possédant une configuration qui pourra s'adapter et résoudre à la croissance du trafic en 2003.

Afin d'assurer le bon fonctionnement du terminal à bois de Béjaïa, notre étude consiste à analyser les mouvements des fardeaux de bois au niveau du terminal de l'EPB. Pour cela, nous avons modélisé par un réseau de files d'attente et opté pour une simulation dans le but d'évaluer les performances du terminal dans les conditions actuelles, comme nous avons proposé une nouvelle gestion de service du terminal en allouant des postes à quai juste pour le traitement du bois, et de déterminer les mesures de performance en cas de variation de certains paramètres (l'augmentation du flux dans les conditions actuelles et en cas du changement de la politique de service).

Ce mémoire est composé d'une introduction générale, quatre chapitres, une conclusion générale, une bibliographie et une annexe :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa et de son terminal à bois.
- Le deuxième chapitre aborde une présentation des différentes files d'attente et les réseaux de files d'attente.
- Le troisième chapitre survole, en premier lieu les notions de base de la simulation. En second lieu, les méthodes de génération des variables aléatoires suivant certaines loi usuelles.
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation du modèle retenu pour modéliser le parcours des fardeaux de bois, alors que ses performances actuelle sont calculées par la simulation. Nous proposons ensuite d'allouer des postes à quai pour le service bois et comparer ces performances en cas d'augmentation du flux des navires de bois arrivant au port.

Notre travail s'achève par un conclusion générale.

# Entreprise Portuaire de Béjaïa

## Introduction

Le port de Béjaïa a toujours œuvré et contribué au rayonnement économique et social. L'objectif est en effet que le port doit s'adapter au maximum aux besoins de son environnement socio-économique en adaptant une stratégie évolutive pour les aménagements portuaires devant répondre aux objectifs stratégiques et à la demande réelle, en confortant la performance portuaire par l'innovation et l'amélioration continue ainsi que l'intégration du réseau portuaire aux chaînes logistiques performantes et dynamiques. L'amélioration de la performance portuaire et logistique s'appuie aussi sur des partenariats stratégiques.

## 1.1 Présentation de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa

l'EPB est une entreprise à caractère commerciale situé dans l'espace méditerranéen. Le port de Béjaïa riche tant sur le plan historique et géographique, occupe une place privilégié et compte parmi les ports les plus fréquentés sur le littoral national et même international. Forée comme étant un port naturel, protégé par son statut géographique qui sécurise toutes sa côte maritime les intempéries et les conditions climatologiques défavorables. C'est avec une conception objective que nous levons le voile sur l'EPB et montrons en terme claire et simple son historique, ses domaines d'activités, ainsi que sa structure et ses différentes missions.



FIGURE 1.1 – Port de Béjaïa

## 1.2 Historique

Béjaïa joue un grand rôle dans la transmission du savoir dans le bassin méditerranéen. Grâce au dynamisme de son port, la sécurité de la région, la bonne politique et les avantages douaniers, Bougie a su attirer beaucoup de puissants marchands [26].

La réalisation des ouvrages actuels débuta en 1834, elle fut achevée en 1987 [26].

Les infrastructures du port de Béjaïa ont commencé à être érigées à la fin du siècle dernier. Les ouvrages de protection furent entamés en 1870 et ce d'accostage en 1879. La construction de l'ancien port fut achevée en 1911. Au milieu des années 30 l'arrière port fut mis en exploitation. En 1958 s'engagèrent les travaux de réalisation des appartements du port pétrolier qui permet la première épédition en 1960. En 1987, le port a été prolongé du nouveau quai, infrastructure la plus importante et la plus moderne.

Le port de Béjaïa aujourd'hui est réputé mixte ; hydrocarbures et marchandises générales y sont traitées. L'aménagement moderne des superstructures, le développement des infrastructures, l'utilisation de moyens de manutention et de techniques adaptés à l'évolution de la technologie des navires et enfin ses outils de gestion moderne, ont fait évoluer le Port de Béjaïa depuis le milieu des années 1990 pour être classé aujourd'hui second port d'Algérie [25].

Bâtie en amphithéâtre au pied du mont de Gouraya, le 14 Août 1982, et dans le cadre de la restriction des entreprises, par le décret n° 82 – 285, a été créée l'entreprise portuaire de Béjaïa, issue de la fusion de :

- L'office National des Ports(ONP).

- La Société Nationale de la Manutention (SONAMA) .
- La Compagnie Nationale Algérienne de Navigation (CNAN).

Le 15 février 1989, l'EPB est transformée en une entreprise publique économique autonome, société par actions avec un capital de 60.000.000 DA.

### 1.3 Situation géographique

Le port de Bejaïa est situé à une Latitude Nord  $36^{\circ}45'24''$  et une longitude Est  $05^{\circ}05'50''$  . Son positionnement au cœur de la méditerranée occidentale et au centre de la côte algérienne présente une originalité économique et une place de choix sur les routes maritimes. Le port de Béjaïa jouit d'une situation géographique privilégiée. Bien protégé naturellement, sa rade est l'une des plus sûres [26].

Le port est situé dans la baie de la ville de Béjaïa, le domaine public artificiel maritime et portuaire est délimité suite à l'arrêté  $n^{\circ}93/1015/DRAG$ , de Monsieur le Wali de Béjaïa, ainsi :

- Au nord par la route nationale  $n^{\circ}9$  ;
- Au sud par les jetées de fermeture et du large sur une longueur de 2.750 m ;
- A l'est par la jetée Est ;
- A l'ouest par la zone industrielle de Béjaïa.

La ville et le port de Béjaïa disposent de ce fait des dessertes routières reliant l'ensemble des villes du pays, de voies ferroviaires et d'un aéroport international.

Cette situation géographique offre des commodités exceptionnelles dues à des liaisons étroites et sûres avec les autres modes de transport.

### 1.3.1 Implantation du port de Béjaïa



FIGURE 1.2 – Infrastructure portuaire

#### 1.3.1.1 Bassins du port [27]

Le port est composé de trois bassins :

- Bassin de l'Avant Port : Sa superficie est de 75 hectares et ses profondeurs varient entre 10m et 13.5m. Disposant d'installations spécialisées, l'avant port est destiné à traiter les navires pétroliers.
- Bassin du Vieux Port : Sa superficie est de 26 hectares et ses profondeurs de quai varient entre 6 et 8m.
- Bassin de l'Arrière Port : Sa superficie est de 55 hectares et les tirants d'eau varient entre 10m et 12m.

### 1.3.2 Mouillage

Connue pour être l'une des meilleures de la côte algérienne, la rade de Bejaïa offre d'excellentes potentialités en matière de protection et des fonds propices à un bon mouillage, avec des profondeurs allant de 10m à plus de 20m . Abrisée de tous les vents sauf du nord est à l'est, la rade est limitée par une ligne imaginaire s'étendant du Cap Carbon au Cap Aokas. Pour les pétroliers la zone de mouillage est située à l'est du Chemin d'accès [25].

### 1.3.3 Accès du port

Le port de Béjaïa est accessible par un chenal extérieur large de 320 m et dragué à 13,50 m. les navires de marchandises générales accèdent aux bassins du vieux port et de l'arrière port par le biais de deux passes, respectivement la passe Abdelkader, large de 110

m et draguée à 12 m et la pass de Casbah(entre le vieux port et l'arrière port), large de 125 m et dragué à 12 m [27].

### 1.3.4 Les ouvrages d'accostage : quais [27]

- Quai Nord : 192 ml ;
- Quai Central : 98 ml (poste 8) ;
- Quai Nord Ouest : 273 ml (poste 9,10 et 11) ;
- Quai de la casbah : 257 ml (poste 12 et 13) ;
- Quai de la passe : 146 ml (poste 14) ;
- Quai Sud Ouest : 230 ml (poste 15 et 16) ;
- Quai de la gare : 530 ml (poste 17, 18 et 19) ;
- Nouveau quai : 750 ml (poste 21,22,33 et 24) ;
- Grande jetée du large : 78 ml (poste 26).

## 1.4 Missions et Activités du port

### 1.4.1 Missions de l'EPB

Les missions de l'EPB peuvent être résumées en l'organisation de l'accueil des navires, le transit des passagers et leurs véhicules, l'activité d'accostage, la gestion et le développement du domaine portuaire, la prise en charge des cargaisons à l'embarquement débarquement et pré-évacuation et évacuation, assurer des prestations de services sous le meilleur rapport qualité/prix, optimiser l'utilisation des ressources humaines et matérielles, aide à la navigation, assurer une disponibilité permanente des moyens humains et matériels, améliorer en continu les performances (humaines, matérielles et budgétaires), rentabiliser au maximum les infrastructures et superstructures portuaires, maintenir et gérer les systèmes de management de la qualité et de l'environnement et enfin la gestion du système d'écoute client et de l'administration des plaintes.

### 1.4.2 Activités de l'EPB

Les principales activités de l'entreprise sont :

- L'exploitation de l'outillage et des installations portuaires.
- L'exécution des travaux d'entretien, d'aménagement et de renouvellement de la super structure portuaire.
- L'exercice du monopole des opérations d'acconage et de manutention portuaire.
- L'exercice du monopole des opérations de remorquage, de pilotage et d'amarrage.
- La police et la sécurité portuaire dans la limite géographique du domaine public portuaire.

Le port de Bejaïa dispose d'infrastructures et d'installations spécialisées pour recevoir tous types de marchandises. il s'appuie sur une bonne accessibilité nautique, des espaces de stockage spécialiser, et un outillage performant.

## 1.5 Equipements du port [27]

Dans le cadre de la mise en œuvre de son programme d'investissement qui vise à renforcer ses équipements de manutention en vue de faire face à une demande en constante évolution, le port s'est doté de :

| DESIGNATION                           | CAPACITE | NOMBRE D'ENGINS | AFFECTATION   |
|---------------------------------------|----------|-----------------|---|
| <b>Chariot élévateurs à pinces</b>    | <5T      | 09              | Affectation aux navires et au relevage.             |
| <b>Chariots élévateurs à fourches</b> | <3T      | 12              | Affectation aux navires et au relevage.             |
|                                       | 5T       | 10              | Affectation aux navires et au relevage.             |
|                                       | 6T       | 05              | Traitement du bois rouge.                           |
|                                       | 8T       | 04              | Affectation aux navires et au relevage.             |
|                                       | 10T      | 11              | Affectation aux navires et au relevage.             |
|                                       | 18T      | 01              | Traitement du rond à béton et les bobines d'acier.  |
|                                       | 32T      | 01              | Affectation aux navires et au relevage.             |
| <b>Pelles chargeuses</b>              | <1.5     | 06              | Traitement des navires céréaliers en finition.      |
| <b>Rétrochargeurs</b>                 | 4T       | 03              |   |
| <b>Steackers</b>                      | 38T      | 02              | Affectation au relevage du rond à béton, les tubes. |
| <b>Tracteurs remorques</b>            | 38T      | 03              | Transfert des marchandises : fer, bois,...          |
| <b>Grue Gottwald HMK 260E</b>         | 80T      | 01              | Affectation aux navires et au relevage.             |
| <b>Grue Gottwald HMK 170E</b>         | 63T      | 01              |   |
| <b>Grue Liebherr</b>                  | 63T      | 03              |   |
| <b>Grues autos mobiles Liebherr</b>   | 50T      | 02              |   |

TABLE 1.1 – Equipements du port

## 1.6 Les lignes maritimes régulières

Les principales lignes maritimes régulières reliant le port de Béjaïa aux ports européens [26].

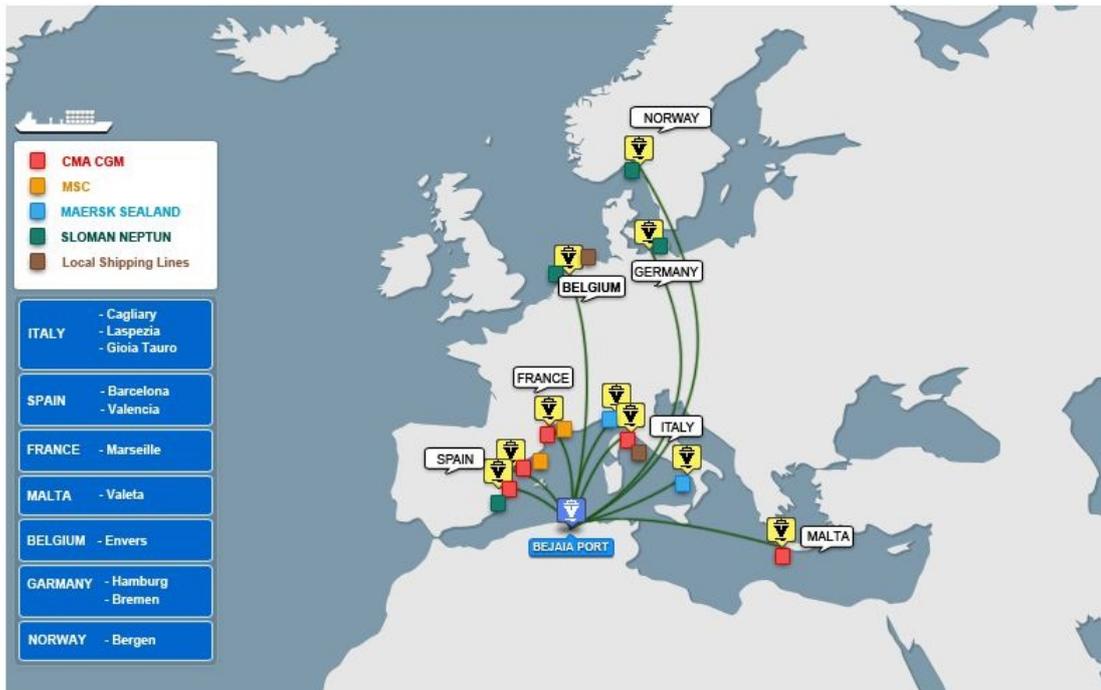


FIGURE 1.3 – Les lignes maritimes régulières

## 1.7 L'organisation du travail

La manutention et l'acconage sont assurés, par un personnel formé dans le domaine. Il est exercé de jour comme de nuit, réparti sur deux vacations de 6h à 19h répartis en deux shifts : 07h à 13h puis de 13h à 19h, avec un troisième shift optionnel qui s'étale entre 19h et 01h du matin. Pour des cas exceptionnels, ce dernier peut s'étaler jusqu'à 7h du matin.

## 1.8 L'organisation de l'EPB

L'entreprise portuaire de Béjaïa est structurée en 9 directions, elle-même subdivisée en départements. L'activité de l'entreprise est organisée suivant un schéma de décentralisation des pouvoirs très poussés au profit des directeurs centraux et de leurs chefs de départements.

L'organisation de l'EPB ne cesse d'être actualisée pour répondre à l'exigence d'une évaluation permanente. Pour cela, nous précisons que la direction management de la qualité et de l'environnement, est de création récente relativement à la stratégie de cette entreprise entrants dans le détail.

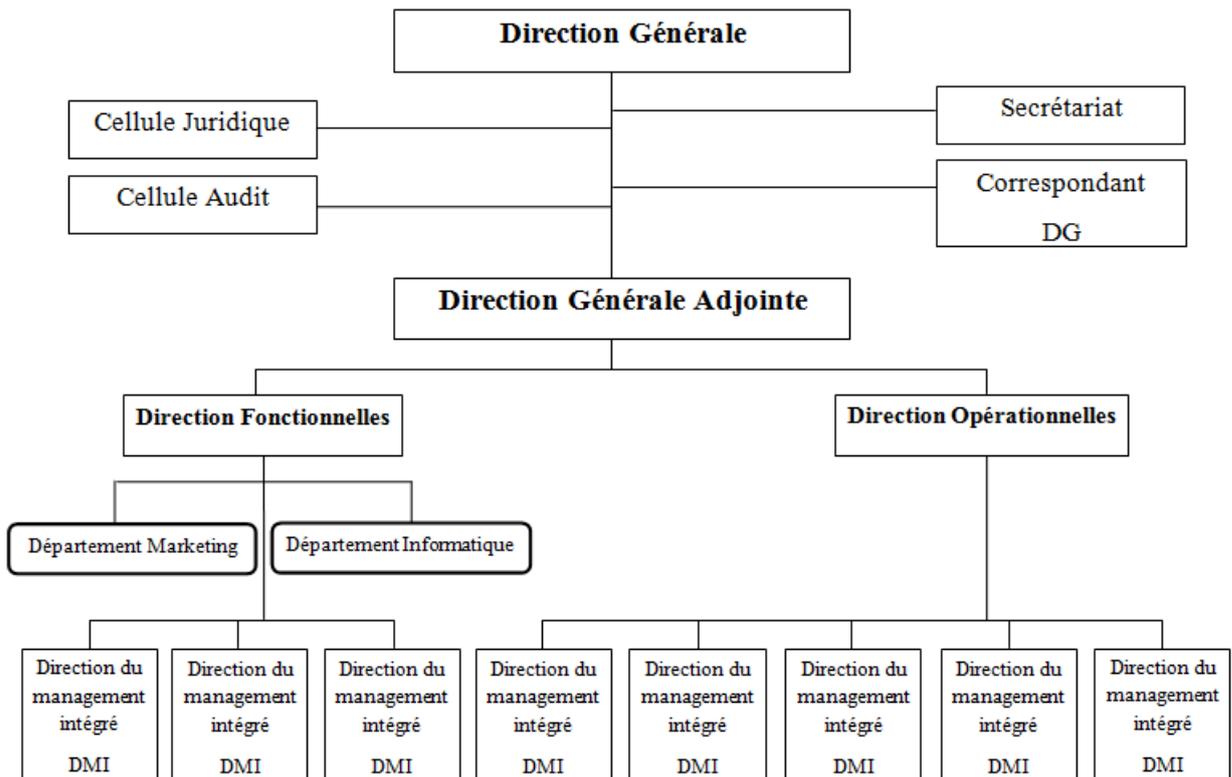


FIGURE 1.4 – Organigramme général de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa

### 1.8.1 La Direction Générale (DG)

Elle est chargée de concevoir, contrôler les actions liées à la gestion et au développement de l'entreprise .

**Attribution :**

- Définition de la politique générale de l'entreprise ;
- Elaboration de la mise en œuvre de la stratégie de l'entreprise à travers le business plan ;
- Assurer la mise en œuvre, maintenance des systèmes d'information permettant la prise de décision ; intervention, inspection de toutes les situations des activités de l'enreposage à l'autorité et à la tutelle.

L'EPB est organisé selon des directions fonctionnelles et opérationnelles comme suit :

### 1.8.2 Les Directions Opérationnelles

#### 1.8.2.1 Direction Manutention et Acconage DMA

Sa mission consiste dans la prévision, l'organisation, la coordination et le contrôle de l'ensemble des actions liées à l'exploitation du port.

Cette direction est chargée de :

- L'exécution des opérations de la manutention des marchandises.

- L’affectation des moyens humains et matériels est nécessaire à l’embarquement et au débarquement.
- L’optimisation des rendements.
- La préparation et le déroulement des opérations.

I) L’affectation des moyens et matériels se fait par le service Acconage. Une affectation des équipes se fait selon les types de navires et le mode de conditionnement de la marchandise transportée. Parmi les types de navires on trouve :

1. **Navire RO/RO** : il s’accoste verticalement, et la marchandise est disposée à l’intérieur du navire.
2. **Navire conventionnel** : ce type de navire s’accoste horizontalement, la marchandise est disposée au bord et il faut distinguer le contenu. Il peut transporter un ou plusieurs produits ; en même temps de la manière suivante :
  - *Produit homogène* : un seul produit comme le ( blé, sucre, . . . etc ).
  - *Manutention des divers produits* : plusieurs produits comme le débarquement des cartons en vrac, et une marchandise en caisse dans le même navire.

II) **Engin/relevage** :

l’EPB dispose d’un parc à engins géré par le service Engin/Relevage. Ce dernier est chargé de la gestion des moyens matériels (grues, chariots, élévateurs, pelles, . . . etc). Il met à la disposition de l’acconage, les moyens nécessaires pour ses besoins et procède à la location des engins des utilisateurs, tant interne qu’externe.

#### 1.8.2.2 Direction domaines et développement (DDA) :

A pour tâches :

- Amodiation et location de terrains, hangars, bureaux, immeubles, installations des terrains à usage industriel ou commercial.
- Enlèvement des déchets des navires et assainissement des postes à quai.
- Pesage des marchandises (pont bascule).
- Avitaillement des navires en eau potable.

#### 1.8.2.3 Direction capitainerie (DC) :

Elle est chargée de la sécurité portuaire, ainsi que de la bonne régulation des mouvements des navires, et la garantie de sauvegarde des ouvrages portuaires. Elle assure également les fonctions suivantes :

- **Pilotage** : La mise à disposition d’un pilote pour assister ou guider le commandant du navire dans les manœuvres d’entrée, de sortie. Cette activité s’accompagne généralement de pilotines, de canots et de remorqueurs.
- **Amarrage** : Cette appellation englobe l’amarrage et le désamarrage d’un navire. L’amarrage consiste à attacher et fixer le navire à quai une fois accosté pour le sécuriser. Cette opération se fait à l’aide d’un cordage spécifique du navire.

- **Accostage** : Le port met à la disposition de ses clients des quais d'accostage en fonction des caractéristiques techniques du navire à recevoir.

#### 1.8.2.4 Direction remorquage (DR) :

Elle est chargée d'assister le pilote du navire lors de son entrée et de sa sortie du quai. Son activité consiste essentiellement à remorquer les navires entrants et sortants, ainsi que la maintenance des remorqueurs. Les prestations sont :

- Le Remorquage portuaire.
- Le Remorquage hauturier (haute mer).
- Le Sauvetage en mer.

#### 1.8.2.5 Direction logistique (DL) :

La direction logistique englobe dorénavant le service engins et grues, issu de la direction manutention et acconage, le département maintenance et le département approvisionnement issus tous deux de la direction domaine et développement. Les principaux métiers exercés par la direction logistique sont :

- L'approvisionnement en pièces de rechanges lié à la gestion technique de port.
- La maintenance des équipements (grues, chariots élévateurs et autres équipements) ;
- La planification des affectations, dont le rôle est le suivi technique et physique des engins pendant leur exploitation ainsi que leur programmation.

### 1.8.3 Directions fonctionnelles

#### 1.8.3.1 Direction du management intégré (DMI) :

Elle est chargée de :

- La mise en œuvre, le maintien et l'amélioration continue du Système de Management Intégré (plans projets et indicateurs de mesure).
- L'animation et la coordination de toutes les activités des structures dans le domaine QHSE.
- La Contribution active à l'instauration et au développement d'une culture HSE au sein de l'entreprise et de la communauté portuaire.
- La Contribution dans des actions de sensibilisation et de formation à la prévention des risques de pollution, à la protection de l'environnement, la santé des travailleurs et à l'intervention d'urgence.

#### 1.8.3.2 Direction finance et comptabilité (DFC) :

Elle a pour rôle :

- La tenue de la comptabilité.

- La gestion de la trésorerie (dépenses, recettes et placements).
- La tenue des inventaires.
- Le contrôle de gestion (comptabilité analytique et contrôle budgétaire).

### 1.8.3.3 Direction des ressources humaines (DRH) :

La fonction ressources humaines a pour mission principale de maintenir l'homme et de satisfaire les besoins qualitatifs de l'entreprise en matière d'emploi.

Elle assure les tâches suivantes :

- La mise en œuvre de la politique de rémunération, de recrutement et de la formation du personnel.
- La gestion des carrières du personnel (fichier).
- La gestion des moyens généraux (achats courants, parc automobile, assurances, etc).

### 1.8.3.4 Direction marketing :

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

### 1.8.3.5 Direction informatique :

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

## 1.9 Le port en quelques chiffres [26]

### 1.9.1 Trafic global

| Rubrique             | 1 <sup>er</sup> trimestre 2015 | 1 <sup>er</sup> trimestre 2016 | Var   |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| Hydrocarbures        | 2 232 057                      | 1 863 659                      | -16,5 |
| Hors hydrocarbures   | 2 829 319                      | 2 869 775                      | +1,4  |
| <b>Trafic Global</b> | 5 061 376                      | 4 733 434                      | -6,5  |

TABLE 1.2 – Le trafic global des marchandises

La décroissance du trafic global durant le premier trimestre 2016 résulte de la régression des hydrocarbures avec -16,5% à cause de l'instabilité du cours du pétrole sur le marché international. Quant au trafic hors hydrocarbures reste en légère augmentation en enregistrant 2,4% d'augmentation à l'import et une baisse de 10% à l'export.

### 1.9.2 Trafic selon le mode de conditionnement

Durant le premier trimestre de 2016, les vracs liquides ont atteint un volume total de 2,04 millions de tonnes, en baisse de 14% par rapport à l'exercice précédent. La régression a été observée au niveau du volume du pétrole brut avec -20,4%. Les hydrocarbures raffinés ont par contre évolué de 20,12%. Les oléagineux ont aussi, augmentés de 55% à l'import et 100% à l'export.

En totalisant plus de 1,3 millions de tonnes, les vracs solides ont fléchi de 3,9% par rapport au premier trimestre 2015. Au débarquement, le blé et le soja affichent une stabilité. Le sucre a augmenté de 13,4%. Le maïs, par contre, a reculé de 11%. A l'embarquement, cette catégorie a diminué de 45% à cause de la quantité de sucre en vrac exporté.

Le tonnage des marchandises conventionnelles s'est élevé à plus de 1,3 millions de tonnes, soit une hausse de 4,8% comparativement à la même période de 2015. Cette hausse a été perçue au débarquement avec +9,6%. Ce gain correspond globalement à la progression de certains produits tels que : le fer (+19,7%), les produits chimiques (+12%), les marchandises diverses (+36%). Le volume à l'embarquement a par contre, baissé de 25,5% à cause du tonnage du sucre qui continue sa récession.

### 1.9.3 Qualité de service

| Rubrique                | 1 <sup>er</sup> trimestre 2015 | 1 <sup>er</sup> trimestre 2016 | Var |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| Attente moyenne en rade | 6,9                            | 4,6                            | -33 |
| Séjour moyen à quai     | 3,2                            | 3,04                           | -5  |

TABLE 1.3 – L'attente et le séjour moyen des navires en rade

L'attente moyenne en rade s'est considérablement améliorée, passant de 6,9 jours en 2015 à 4,6 jours en 2016, soit 2,3 jours de moins. Le séjour moyen à quai s'est stabilisé autour de 3,04 jours.

### 1.9.4 Mouvement de la navigation

Le nombre de navires ayant escalé au Port de Béjaïa durant le 1er trimestre de 2016 est de 325 navires, soit 01 navire en moins par rapport à 2015. La jauge brute de ces navires a baissé de 3,13% pour atteindre plus de 3,9 millions de tonnes.

## 1.10 Les terminaux au port de Béjaïa [26]

Le port de Béjaïa dispose d'infrastructures et d'installations spécialisées L'entreprise portuaire de Béjaïa dispose de différents terminaux remarquables citons :

### 1.10.1 Terminal à conteneurs



FIGURE 1.5 – Terminal à conteneurs

Le terminal à conteneur est exploité depuis juillet 2005 par une nouvelle entité BMT (Bejaia méditerranéen Terminal) issue d'une joint-venture entre l'EPB et le Singapourien PORTEK. C'est le seul terminal algérien à disposer de portiques de quai pouvant traiter les navires postpanamax. Le terminal dispose également de sa propre structure douanière (guichet unique).

### 1.10.2 Terminal roulier

Il permet la réception des matériels roulants (Véhicules touristiques, utilitaires et de transport public, engins de Travaux publics, Engins d'exploitation ferroviaires...).

**Caractéristiques :**

- Emplacement : poste 18.
- Superficie du parc :  $13.000m^2$ .

### 1.10.3 Terminal céréalier

L'EPB, occupant la première position pour ce qui est du trafic céréalier, l'activité est dotée d'équipements les plus performantes sur le marché ; qui ont fait que les rendements de la manipulation des céréales sont passés de  $50T/heure$  à  $750T/heure$ . L'EPB peut ainsi traiter de gros céréaliers de 60.000 tonnes.

**Caractéristiques :**

- 400ml de quai avec 03 quais favorisés.
- Emplacement : Quai Sud Ouest / Quai de la gare et Nouveau Quai.
- Tirant d'eau maximum autorisé : 10m à 11,50m.

#### 1.10.4 Terminal divers

Doté en moyens matériels et humains au même titre que les autres terminaux, on y traite les divers produits de conditionnements hétérogènes Gros colis , big bag, ballots,palettes...

**Caractéristiques :**

- 07 postes à quai.
- Emplacement : quai de la Casbah et quai de la gare.
- Tirant d'eau maximum autorisé : 10m.
- Surfaces d'entreposage : 50,218m<sup>2</sup>.

#### 1.10.5 L'abri papier

Il est d'une superficie de 1.200 mètres carrés, spécialement aménagé pour accueillir des bobines de papier de grand et petit formats, d'en garantir la sécurité et la qualité grâce à la manipulation de ces cargaisons par des moyens adéquats dans un environnement sec, propre et sécurisé. Les capacités de cet abri sont estimées à 1.528 unités au sol, avec une possibilité de gerbage sur 2 mètres de hauteur.

**Caractéristiques :**

- Emplacement : A l'entrée du poste 19.
- Surface totale : 1286m<sup>2</sup>.
- Capacité commerciale au sol : 1528 unités.
- Hauteur de gerbage : 2 niveaux.

#### 1.10.6 Centre de Transit des Marchandises Dangereuses "CTMD"

Unique en Algérie, le CTMD est dédié au stockage dans les meilleures conditions de sécurité toutes les marchandises classées dangereuses.

**Caractéristiques :**

- Surface totale : 7000m<sup>2</sup>.
- Nombre de hangars : 06 sur une surface de 1440m<sup>2</sup>.
- Emplacement : Nouveau quai (poste 20).

#### 1.10.7 Le terminal à Bois

Le terminal à bois, mis en service en mai 2005, est situé en face du poste 21 à l'intérieur du port.



FIGURE 1.6 – Terminal à bois de l'EPB

### 1.10.7.1 Capacité

Le terminal dispose de sa propre surface d'entreposage qui est de superficie de 7 hectares d'une capacité totale de 19.300 fardeaux gerbés généralement sur 03 niveaux ainsi que d'un guichet unique.

Le déchargement de la marchandise bois ne se fait pas sur des postes à quai spécialisés, il est considéré comme tout autre marchandise lors de son traitement, mais on trouve 02 postes à quai favorisés selon leurs distance par rapport au terminal à bois qui sont le quai de la gare et le nouveau quai avec en moyenne 300 ml et un tirant d'eau maximum autorisé 8 m à 11,50 m.

### 1.10.7.2 Equipements et evolution des performances

Il est doté d'équipements performants et parfaitement adaptés à ce type de marchandise, citons les chariots élévateurs à fourches, les tracteurs remorques et les camions transporteurs des fardeaux de bois. Les nouvelles grues à palonniers, permettent de traiter dix fardeaux en même temps et de réduire la durée de séjour à quai des navires, tout en réduisant le risque d'endommagement de la marchandise. L'EPB de cette manière, a consolidé sa part de marché et sa position de leader sur le produit Bois et offre un service de meilleure qualité à sa clientèle, qui compte d'importantes entreprises du Bâtiment et Travaux Publics, très exigeantes et pointilleuses en matière de qualité de service.

### 1.10.7.3 Processus du traitement du bois

L'opération du traitement du bois s'effectue en suivant les étapes résumées dans le tableau ci-dessus :

| <i>N</i> <sup>o</sup> d'étape | Désignation                                      |
|-------------------------------|--|
| <i>A</i>                      | Situation journalière du consignataire<br>DMA-DC |
| <i>B</i>                      | Planification CPN et CRM                         |
| <i>C</i>                      | Programmes DC Reg 01 et DMA.reg,79               |
| <i>D</i>                      | Affectation des moyens humains et matériels      |
| <i>E</i>                      | Elinguage  |
| <i>F</i>                      | Levage   |
| <i>G</i>                      | Dé langage                                       |
| <i>H</i>                      | Transfert  |
| <i>I</i>                      | Entreposage                                      |
| <i>J</i>                      | Dédouanement                                     |
| <i>K</i>                      | Stockage   |
| <i>L</i>                      | Enlèvement                                       |

TABLE 1.4 – Processus du traitement du bois

Après avoir vérifier la situation journalière du consignataire DMA (Direction de Manutention et acconage) et DC (direction capitainerie), deux conférences de placement et répartition des navires (CPN et CRM) se déroulent afin d'organiser l'échelle des navires au port, le transport des marchandise et enfin l'affectation des moyens humains et matériels. Parfois des navires transportent des fardeaux de bois non élingués, alors des équipes doivent s'en charger de l'elinguage pour permettre leurs levage par des grues spécialisées et les dé-linguers une foie sur le quai. Les chariots élévateurs font charger les fardeaux sur camions qui à leurs tours les transportent vers la zone de stockage après dédouanement. Les enlèvements se font lorsque le client réclame sa marchandise.

## 1.11 Les concurrents du port de Béjaia

Les principaux concurrents du port de béjaia sont les autre port algériens :

### 1.11.1 Le port d'Alger

C'est actuellement le premier port d'Algérie en matière de traitement des marchandises générales avec une part de marché de 27%. Dans le traitement des conteneurs, plus de 70% de ce trafic transitent actuellement par le port d'Alger, qui est le seul port principal en eau profonde desservant la région Centre, celui ci connaît donc une sérieuse pénurie de capacité de traitement de conteneurs et d'espace de stockage.

Les limitations importantes de l'espace et des quais pour les opérations de conteneurs aggravent les niveaux élevés de congestion des autres types de marchandises, c'est pour cette raison que le ministère des Transports a pris la décision d'affecter une partie du trafic non conteneurisés vers les autres ports algériens (décision applicable à partir du 1 octobre 2009). Une grande partie de ce trafic notamment le bois, le fer et les produits alimentaires ont été réaffectés au port de Béjaïa.

### **1.11.2 Le port de Djendjen**

La gestion du terminal à conteneurs de Djendjen sera confiée à compter de 2009 à un opérateur étranger " Dubai Ports World (DPW) " qui fera du port de djendjen un port de transbordement. (DP World, quatrième opérateur mondial de terminaux pour containers, gère 42 terminaux et 13 projets en développement dans 27 pays. En 2006, le groupe a réalisé un bénéfice de 191,78 millions de dollars sur un chiffre d'affaires de 3,49 milliards).

Mais des audits réalisés récemment par des entreprises spécialisées auraient montré que l'exploitation du port de Djendjen était très compliquée. Ce port présenterait notamment des défauts importants en matière de sécurité. Ajouter à cela l'inexistence de couloirs routiers à même de canaliser le trafic dont la dynamisation du port a cruellement besoin.

### **1.11.3 Le port de Skikda**

Le port de Skikda est principalement un port de marchandises diverses. Il traite principalement les produits sidérurgiques (21% de part de marché) ainsi que le divers (machines, et pièces). Le vieux port, est d'ailleurs devenu un centre de réception et de transfert de cargaisons de projet pour l'exploration et la production pétrolière dans le Sud (tubes, machineries,...).

La principale contrainte du port de Skikda est le faible tirant d'eau (6.00 m) des quais de marchandises divers existants. Il y a un tirant d'eau suffisant à l'entrée du port, mais approfondir à l'intérieur des bassins est compliqué par le type de construction des quais réalisée avec des murs gravitaires qui ne s'adapte pas facilement à l'amélioration du tirant d'eau. Les possibilités de fournir des installations modernes pour satisfaire la demande croissante du trafic de conteneurs et de marchandises diverses sont réduites ou inexistantes dans les limites du port actuel.

Les nouveaux projets du port de Skikda concernent principalement la création d'une plate-forme logistique, en partenariat avec un opérateur très probablement étranger.

En matière d'équipements, le port dispose de 06 grues de gros tonnage (de 60 à 350T), et un parc engins assez étoffé par rapport au niveau de trafic qu'il traite.

### 1.11.4 Le port d'Annaba

Le port d'Annaba est le port le plus à l'Est. C'est principalement un centre d'exportation et d'importation de vracs (Minerais, charbon, phosphates...). Cependant, il joue également un rôle régional secondaire dans l'importation des marchandises diverses, des conteneurs, des produits agricoles et des véhicules.

Les projets de développement pour le Port comportent principalement l'expansion du parc à conteneurs. L'agrandissement et l'augmentation du tirant d'eau des quais pour les conteneurs est compliquée par la configuration du Bassin et le type de construction des structures de quai avec des murs gravitaires.

La capacité estimée du parc à conteneurs agrandi et des quais existants est de l'ordre de 15.000 EVP par an, en grande partie du fait des limitations de tirant d'eau et de longueur de quai.

## Position de problème

Les gestionnaires de l'EPB prévoient une augmentation du trafic en ce que concerne le bois.

La question essentielle est de savoir si les structures actuelles du terminal à bois et la gestion du service suivi, pourront faire face à cette augmentation.

C'est dans cette optique que cette étude a été diligentée. Évaluer les performances du terminal à bois de l'EPB, et proposer une solution optimale pour la gestion du service, puis déterminer ces mêmes performances en cas d'augmentation du trafic (augmentation du trafic ).

L'étape de modélisation doit tenir compte du système des mouvements dans le terminal de Béjaïa. Le bois passe par plusieurs étapes de service telle que le débarquement, le transfert, le stockage, la livraison.

C'est toutes ces étapes que nous allons analyser, modéliser et simuler dans le but d'évaluer les performances de ce terminal.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise portuaire de Bejaïa et avons tracé son historique, suivi de sa situation géographique ainsi que les missions et activités de l'EPB, les équipements du port, les lignes maritimes régulière, et aussi l'organisation de l'EPB et ses différents terminaux et enfin les concurrents du port.

# Files d'Attente

## Introduction

Le problème des files d'attente est constaté souvent dans notre vie quotidienne : en bus, en supermarché, chez un médecin, . . . .

La file d'attente peut ne pas se manifester de façons personnifiée : on peut parler d'une file de machines en panne dans un atelier qui attendent la réparation, ou d'une file de bateaux qui attendent le déchargement devant un quai, ou aussi d'un ensemble de programmes qui attendent l'acquisition d'une composante de la machine, . . . .

## 2.1 Caractérisation et définition des files d'attente

Pour caractériser une file d'attente, Considérons par exemple, un centre de service et une population de clients, ces derniers entrent dans le centre pour être servis. Généralement, le serveur ne peut pas servir tous les clients à la fois et si un nouveau client arrive et trouve le serveur occupé, il doit attendre que ce dernier soit libre et entre alors dans une file d'attente [5].

Une file d'attente ou queue, est un système stochastique composé d'un certain nombre (fini ou non fini) de places d'attente d'un ou plusieurs serveurs et bien sûr des clients qui arrivent, attendent, se font servir selon des règles de priorité données et quittent le système.

La description précédente d'une file d'attente, dont une représentation schématique est représentés dans la figure 2.1, ne saurait capturer toutes les caractéristique des différents modèles que comptent la littérature mais elle identifie les éléments principaux permettant la classification de la grande majorité des files d'attente simple [6].

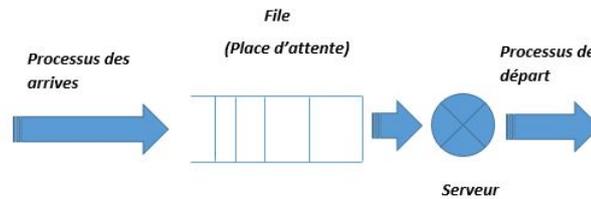


FIGURE 2.1 – Un système de files d'attente

## 2.2 Classification des systèmes d'attente

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

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

## 2.3 Notation de Kendall [7]

La notation suivante, introduite par Kendall et reprise par de nombreux auteurs, permet de ramener la description textuelle des différents éléments constituant une file d'attente simple à une formule symbolique. Dans sa version étendue, un modèle est spécifié par une suite de six symboles :

$$A/S/m/K/P/D \tag{2.1}$$

La signification de chacun de ces symboles est :

- $A$  : nature du processus d'arrivée ;
- $S$  : nature du processus de service ;
- $m$  : nombre de serveurs ;
- $K$  : capacité d'accueil de la file ;
- $P$  : taille de la population ;
- $D$  : discipline de la file (qui décrit l'ordre avec lequel les arrivées dans le système vont accéder au service).

Les disciplines peuvent être :

- **FIFO (First In First Out)** : Le premier arrivé est le premier servi ;
- **LIFO (Last In First Out)** : 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 supérieure se présente devant 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 ;
- $\Gamma$  : loi Gamma ;
- D : loi Déterministe (temps d'inter-arrivées ou de service constant) ;
- G : loi Générale (quelconque) ;

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

## 2.4 Mesures de performance d'une file d'attente

L'analyse théorique d'un modèle de files d'attente a pour objet de saisir qualitativement et quantitativement le fonctionnement du système en question. Pour cela, il faut définir les critères et les mesures susceptibles d'atteindre cet objectif afin d'être capable de déterminer à l'avance les performances du système, les effets d'un changement ou encore d'identifier les paramètres les plus sensibles.

Pour un système composé d'une seule file d'attente, les principales mesures de performances sont :

- Le nombre N de clients dans le système ,
- Le temps de séjour dans le système (ou temps de réponse) T,
- Le nombre Q de clients en attente,
- Le temps d'attente W d'un client,
- Le taux d'occupation U du ou des serveurs,
- $\bar{S}$  le temps moyen de service,
- $\bar{A}$  le temps moyen entre deux arrivées.

## 2.5 La formule de Little [7]

La formule de Little est l'un des résultats les plus beaux et les plus utiles de la théorie des files d'attente. De par sa grande simplicité et sa généralité, ce théorème possède une

multitude d'applications. D'une certaine manière il peut être perçu comme le pendant dans la théorie des files d'attente de la loi d'Ohm en électricité ou de la loi de Hook en élasticité.

La formule de Little n'est valable que pour des systèmes *stable*, dans lesquels un équilibre stochastique s'est établi et "tournant" donc en *régime stationnaire*.

**Théorème 2.5.1** (*Formule de Little*) Soit un système en régime stationnaire, alors

$$\bar{N} = \lambda \bar{T}$$

où

1.  $\bar{N}$  est le nombre moyen de clients dans le système,
2.  $\lambda$  est le taux moyen d'arrivée des clients dans le système,
3.  $\bar{T}$  est le temps moyen de séjour d'un client dans le système.

Ainsi les mesures les plus fréquemment utilisées sont :

- $\bar{Q} = \lambda \bar{W}$  ;
- $\bar{T} = \bar{W} + \frac{1}{\mu}$  ; où  $\mu$  représente le taux de service ;
- $\bar{N} = \bar{Q} + \rho$  ;

De manière générale, une file est stable si et seulement si le nombre moyen d'arrivées de clients par unité de temps, noté  $\lambda$  , est inférieur au nombre moyen de clients pouvant être servis par unité de temps. Si chaque serveur peut traiter  $\mu$  clients par unité de temps et si le nombre de serveurs est  $m$ , une file est stable si et seulement si

$$\lambda < m\mu \Leftrightarrow \rho = \lambda / m\mu < 1. \quad (2.2)$$

où  $\rho$  est appelé l'intensité de trafic.

## 2.6 Méthodes d'analyse des systèmes d'attente [13]

Un processus d'attente est fondamentalement un processus stochastique. Un processus stochastique est un processus dans lequel l'état du système change suivant un paramètre, habituellement le temps, d'une manière aléatoire. Une classe intéressante de processus stochastiques est celle des processus markoviens. Un processus stochastique est dit markovien si l'état présent du système suffit pour prévoir son état futur et sans la connaissance des états passés du système. Les processus stochastiques qui n'exhibent pas la propriété de Markov sont dits non markoviens.

## 2.7 Les files d'attente markoviennes

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 [14].

### 2.7.1 La file d'attente M/M/1

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

- Le taux d'utilisation du serveur est :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}; \quad (2.3)$$

- La probabilité qu'il y ait  $n$  clients dans le système à l'instant d'entrée est :

$$p_n = p_0 \rho^n, n = 1, 2, 3, \dots; \quad (2.4)$$

avec

$$p_0 = 1 - \rho; \quad (2.5)$$

- Le nombre moyen de clients présents et en attente sont :

$$\bar{N} = \frac{\rho}{1 - \rho}, \bar{Q} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}; \quad (2.6)$$

- Le temps moyen de réponse et d'attente sont :

$$\bar{T} = \frac{1}{\mu - \lambda}, \bar{W} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}. \quad (2.7)$$

### 2.7.2 La file d'attente M/M/m

Dans ce modèle,  $m$  serveurs identiques et indépendants partagent les mêmes places d'attente. Les arrivées suivent un processus de Poisson de paramètre  $\lambda$  et la durée de chaque service est une variable exponentielle de paramètre  $\mu$ . Les caractéristiques de ce système sont données par les relations suivantes :

- Le taux d'utilisation de chaque serveur est :

$$U = \rho = \frac{\lambda}{m\mu} \quad (2.8)$$

- La probabilité qu'il y'ait  $n$  clients dans le système à l'instant d'entrée est :

$$p_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} p_0 & \text{si } n \leq m; \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{n! m^{n-m}} p_0 & \text{si } n \geq m; \end{cases}$$

où

$$p_0 = \left[ \sum_{n=0}^m \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^{m+1}}{m!(m - \lambda/\mu)} \right]^{-1}; \quad (2.9)$$

$$\zeta = P(\text{attente}) = P(X \geq m) = \frac{p_m}{1 - \rho} \quad (2.10)$$

- Le nombre moyen de clients présents et en attente sont :

$$\bar{N}_{mp} + \frac{\rho\zeta}{1 - \rho}, \bar{Q} = \frac{\rho\zeta}{1 - \rho} \quad (2.11)$$

- Le temps moyen de réponse et d'attente sont :

$$\bar{T} = \frac{1}{\mu} \left( 1 + \frac{\zeta}{m(1 - \rho)} \right), \bar{W} = \frac{\zeta}{m\mu(1 - \rho)} \quad (2.12)$$

### 2.7.3 La file d'attente M/M/m/K

La file M/M/m/K est une file markovienne composée de m serveurs et disposant de K places au total. Le nombre maximal de clients en attente est donc K-m. Si un client arrive alors que le système est plein, il ne peut y entrer et doit repartir. Elle est donc toujours stable quel que soit l'intensité du trafic  $\rho = \lambda/m\mu$ .

Les taux de service de cette file est :

$$\mu_k = \begin{cases} k\mu & k=1,2,3,\dots,m-1 \\ m\mu & k=m,m+1,\dots,k \end{cases}$$

Comme tout client arrivant alors que le système est plein doit repartir, le taux effectif d'arrivées dans le système n'est pas  $\lambda$  mais  $\lambda = \sum_{k=0}^K \lambda p_k = \lambda(1 - p_K)$ .

Où,  $p_k$  est la probabilité qu'il y a k clients dans le système.

Ayant calculé

$$\bar{T} = \frac{1}{\mu} \left(1 + \frac{\zeta}{m(1-\rho)}\right), \bar{W} = \frac{\zeta}{m\mu(1-\rho)} \quad (2.13)$$

c'est ce taux  $\lambda$  qu'il faut utiliser pour calculer  $\bar{T}$  et  $\bar{W}$  à l'aide de la formule de Little.

### 2.7.4 Le modèle d'attente $M^{[X]}/M/1$ [15, 11]

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

Ce modèle est caractérisé par les éléments suivants :

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

On pose :

$$P(X = x) = c_x \quad (2.14)$$

Le système est Markovien, puisque le comportement future du système dépend uniquement de la situation présente.

Nous avons  $c_x = \frac{\lambda_x}{\lambda}$ , si  $\lambda_x$  est le taux d'arrivées des groupes comportant  $x$  clients.

$Y$  : Le nombre de clients dans le système à l'instant  $t$ .

$$p_n(t) = P [\text{n clients dans le système à l'instant } t].$$

Nous pouvons simplement écrire les équations de l'état d'équilibre :

$$\begin{cases} (\lambda + \mu)p(n) = \mu p(n+1) + \lambda \sum_{k=1}^n p(n-k)c_k, & n \geq 1; \\ \lambda p_0 = & \mu p(1). \end{cases} \quad (2.15)$$

Pour résoudre ce système, nous utiliserons les fonctions génératrices, nous obtenons :

$$P(z) = \frac{\mu p(0)(1-z)}{\mu(1-z) - \lambda z[1-C(z)]} \text{ si } |z| < 1 \text{ avec } C(z) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n z^n \quad (2.16)$$

Pour obtenir la valeur de  $p(0)$ , il faut utiliser la condition  $P(1) = 1$ .

La relation (2.1) devient, en faisant tendre  $z$  vers 1 et en notant  $E(X) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{dC(z)}{dz}$ , le nombre moyen de groupe qui arrivent :

$$p(0) = 1 - \rho, \text{ avec } \rho = \frac{\lambda E(X)}{\mu}.$$

La condition de stabilité de la file est obtenue par  $p(0) > 0$ , c'est-à-dire  $\rho < 1$ .

Dans le cas où la taille des groupes arrivées est géométriquement distribuée on aura :

$$c_x = (1 - \alpha)\alpha^{x-1}, (0 < \alpha < 1), x \geq 1; \quad (2.17)$$

ce qui donne :

$$P(z) = (1 - \rho) \left[ \frac{1}{1 - [\alpha + (1 - \alpha)\rho]z} - \frac{\alpha z}{1 - [\alpha + (1 - \alpha)\rho]z} \right]; \quad (2.18)$$

Nous obtenons :

$$p = \left[ \frac{\partial^n P(z)}{\partial z^n} \right]_{z=0}; \quad (2.19)$$

ce qui donne :

$$p(0) = 1 - \frac{\lambda E(X)}{\mu} = 1 - \rho; p(n) = (1 - \rho)[\alpha + (1 - \alpha)]^{n-1}[(1 - \alpha)\rho], \text{ avec } (n > 0). \quad (2.20)$$

## 2.8 Les files d'attente non markoviennes

Les files d'attente non markoviennes sont des processus stochastique complexes , voir tres difficiles à traiter de manière exacte et en toute généralité . Les développements se simplifient parfois pour les files où  $m = 1$ , mais les résultats existent essentiellement pour des cas particuliers. De nombreuses approximations sont cependant disponibles, de plus ou moins bonne qualité. L'une des plus simples est directement issue de la formule de Pollaczek-Khinchin.

### 2.8.1 La file d'attente M/G/1 [7]

Dans une file M/G/1, le temps de service ne suit plus une loi exponentielle mais une loi non négative quelconque d'espérance  $\bar{S}$  et de variance  $\sigma_s^2$ .

Le processus stochastique décrivant l'évolution du nombre de clients dans le système n'est plus une chaîne de Markov car le temps de service n'est plus sans mémoire! Pour obtenir un processus markovien, il faudrait étendre la définition de l'état du système afin d'inclure également la durée de service déjà reçue par le client occupant le serveur.

Une autre approche consiste à n'observer le système qu'aux instants où un client le quitte! On obtient ainsi une chaîne de Markov sous-jacente à temps discret.

### 2.8.2 La file d'attente M/G/1/N [14]

Les arrivées sont markoviennes, et le temps de service est non-exponentiel dont on connaît :

1. durée moyenne du service.
2. écart-type.

Un seul serveur.

La file étant limitée a N-1 places.

### 2.8.3 La file d'attente G/G/1 [7]

Malgré l'apparente simplicité du modèle, la file G/G/1 est un système complexe pour lequel seules des approximations et des bornes existent dans le cas général. En effet, soit  $\bar{A}$  le temps moyen entre deux arrivées successives de clients ( $\lambda = 1/\bar{A}$  est le taux d'arrivée) et  $\bar{S}$  est le temps moyen de service d'un client ( $\mu = 1/\bar{S}$  est le taux de service).

Le temps moyen d'attente dans la file est :

$$\bar{W}_{(G/G/1)} \simeq \left( \frac{C_A^2 + C_S^2}{2} \right) \bar{W}_{(M/M/1)} \quad (2.21)$$

et le nombre moyen de clients dans la file d'attente est :

$$\bar{Q}_{(G/G/1)} \simeq \left( \frac{C_A^2 + C_S^2}{2} \right) \bar{Q}_{(M/M/1)} \quad (2.22)$$

où  $(C_A)^2$  est le coefficient de variation des temps entre deux arrivées successives et  $(C_S)^2$  est le coefficient de variation des durées de service au carré.

Pour le calcul de  $\bar{N}$  et  $\bar{T}$ , on utilise les relation  $\bar{N} = \bar{Q} + U$  et  $\bar{T} = \bar{W} + \bar{S}$ .

## 2.8.4 Système de files d'attente avec vacances

Pendant des années, l'étude des modèles de files d'attente avec vacances du serveur a été le sujet d'activité de plusieurs chercheurs à travers le monde [8, 9, 17, 18, 22, 19, 20] vu leurs importance théorique et leurs applicabilité dans beaucoup de système réels (Systèmes informatiques, de production, de stock, de fiabilité ...etc)

La plupart des travaux sur les modèles classiques traitent des systèmes dans lesquels le serveur reste oisif quand la file d'attente est vide. Cependant, le temps de oisiveté du serveur pourrait être utilisé pour un travail secondaire dans le but d'améliorer la performance du système. Ces situations d'attente peuvent être étudiées par les modèles appelés "modèles avec vacances" ou encore "vacation queueing systems". Ces derniers sont caractérisés par le fait que le temps inoccupé du serveur peut être utilisé pour des tâches extérieures, tâches prioritaires ou de maintenances (préventives)... etc [14].

### 2.8.4.1 Classification des différents modèles d'attente avec vacances

Les files d'attente avec vacances peuvent être classifiées selon différents critères [21, 23, 10]. Les disciplines de service les plus connues sont :

#### 1. La discipline de service exhaustif (complet)

Dans un système avec vacances et service exhaustif, chaque fois que le serveur retourne d'une vacance, il servira tous les clients en attente dans le système avant de commencer une autre vacance.

#### 2. La discipline de service avec barrière ("gated service")

Dans le cas de service avec barrière, quand le serveur retourne d'une vacance, il sert seulement les clients qui étaient en attente dans la file à son arrivée. Autrement dit, dès l'arrivée du serveur, il met une barrière fictive derrière les clients en attente dans la file et ne prend une autre vacance qu'une fois tous les clients qui étaient présents à son arrivée soient servis.

#### 3. Systèmes de service limité (the $N^*$ -policy)

Dans un système avec service limité, on se fixe un nombre  $N$ . A son retour de la vacance, le serveur servira au plus  $N$  clients et commencera ensuite une autre vacance. Ainsi, le serveur sert jusqu'à ce que la file d'attente soit vide ou bien jusqu'à ce que  $N$  clients soient servis, ensuite il prend une autre vacance.

#### 4. Systèmes de service limité

Dans ce cas, nous considérons un système à vacances multiples, où le serveur prend une vacance  $V$  à la fin de chaque service, même s'il y a quelques clients dans la file.

#### 5. La discipline de service non exhaustif ou "politique de décision séquentielle de Bernoulli"

Pour cette politique, à la fin de chaque service, le serveur va en vacance avec une probabilité  $p$  ou bien décide d'attendre le prochain client avec la probabilité  $1 - p$ . de

la même manière, à la fin de chaque période de vacance le serveur prend une autre vacance avec une probabilité  $H$  ou bien attend l'arrivée du prochain client avec la probabilité  $1 - H$ .

Une comparaison des différentes politiques de service est donnée dans [24]. Si le serveur retourne d'une vacance et trouve la file d'attente vide, il exécute l'une des deux actions suivantes :

- Sous le schéma de "**vacances multiples**", le serveur commencera immédiatement une autre vacance et continue à prendre des vacances successives, jusqu'à ce qu'il trouve au moins un client en attente dans la file. Dans ce cas, toute vacance est indépendante, mais identiquement distribuée.
- Sous le schéma de "**vacances unique**", le serveur attendra jusqu'à la fin de la prochaine période d'activité pendant laquelle un client au moins sera servi, avant de commencer une autre vacance. Autrement dit, il y a exactement une seule vacance à la fin de chaque période d'activité, ou bien entre deux vacances, au moins un client doit être servi, ou encore, le serveur prend exactement une vacance après que le système devient vide. S'il ne trouve aucun client dans la file après son retour de la vacance, il reste libre jusqu'à ce qu'il sert au moins un client.

Les files d'attente à serveur avec vacance ont été largement étudiées aussi bien pour leur intérêt théorique que pour leur intérêt pratique dans la modélisation des performances de plusieurs systèmes, tels que les systèmes informatiques, les réseaux de communication, et les systèmes de production. Relativement aux études faites par Doshi, toutes les études effectuées sur les systèmes avec vacances, supposent une population infinie de clients [16].

## 2.9 Les réseaux de files d'attente

Les réseaux de files d'attente ont une très grande importance en recherche opérationnelle. Ils servent à modéliser des phénomènes physiques. Ils permettent ainsi d'évaluer les performances et mieux comprendre le comportement de ces systèmes.

Peu de réseaux de files d'attente ont une solution simple, Ceci provient de la difficulté d'étudier les propriétés des flux à l'intérieur du réseau.

### 2.9.1 Les caractéristiques d'un réseau de files d'attente

Un réseau de files d'attente est caractérisé par les paramètres suivant :

- **Le chemin suivi par les clients dans le système** : ce chemin peut être statique (chaque client va de serveur en serveur suivant une route prédéterminé), soit dynamique : après le service dans une station, le client a le choix entre plusieurs autres

- stations pour poursuivre son traitement. Ce choix est éventuellement pondéré par des fonctions de probabilité ;
- **Les classes de clients** : plusieurs classes de clients peuvent être présentes dans le système. Tous les clients appartenant à une même classe suivront le même chemin (décrit statiquement ou dynamiquement). Par contre, à l'intérieur de la station, les différentes classes restent en compétition pour recevoir leur traitement ;
  - **Le comportement des stations (notion de Kendall)** : soit  $n_1, n_2, \dots, n_k$ , le nombre de client respectivement dans la file de  $1, 2, \dots, K$ . Le comportement du réseau est totalement défini par les valeurs. soit  $P(n_i)$  la probabilité d'avoir  $n$  clients dans la file  $i$  à l'instant  $t$ .

## 2.9.2 Les différents types de réseaux

Principalement, on distingue quatre types de réseaux qui sont :

- Les réseaux ouverts : Ces réseaux possèdent une ou plusieurs entrées de l'extérieur et le nombre de clients à un instant donnée n'est pas limité.
- Les réseaux fermés : Un réseau est fermé si les clients ne peuvent pas le quitter. Dans un réseau fermé, le nombre de clients est généralement fixe. Ces derniers sont présentés dans le système dès le début de son évolution.
- Les réseaux mono ou multiclassés : Les réseaux de file d'attente peuvent être parcourus par une ou différentes classes de clients.
- Les réseaux mixtes : Ce sont des réseaux ouverts pour certaines classes et fermés pour d'autres classes.

## 2.9.3 Les réseaux de Jackson

Par réseaux de Jackson, on entend un ensemble de files d'attente reliées entre elles de façon quelconque, la distribution des temps de service étant exponentiellement distribués de taux  $\mu_i$  et le processus des arrivées de l'extérieur étant poissonnien de taux  $\lambda_i$ . Les files sont de capacité illimitée de telle sorte qu'il n'y ait pas de blocage : la discipline de service est FIFO. Les clients (appartenant tous à la même classe) sont acheminés dans le réseau suivant des probabilités de routage  $p_{ij}$  : probabilité en sortant de la file  $i$  d'aller vers la file  $j$ . Si le réseau est ouvert possède une source notée 0 qui permet à des clients venant de l'extérieur d'entrer dans le réseau par la file  $j$  avec la probabilité  $p_{0j}$ . De plus, il existe une station puit dénotée  $K+1$  par laquelle les clients quittent le système. Le flux total des clients arrivant dans le système forme un processus de Poisson de paramètre  $\lambda$ .

$$\sum_{j=1}^{K+1} P_{ij} = 1 \quad (2.23)$$

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

Soit  $n_1, n_2, \dots, n_k$  le nombre de clients respectivement dans la file  $1, 2, \dots, K$ . Le comportement du réseau est totalement défini par les valeurs de  $P(n_1, n_2, \dots, n_k, t)$  : la probabilité d'être au temps  $t$  dans l'état  $n_1, n_2, \dots, n_k$ , 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. Dans ce cas, nous ôterons le temps  $t$  des probabilités jointes et marginales.

**Théorème 2.9.1** *Un réseaux de Jackson ouvert, stable et fermé de  $n$  files possède une distribution stationnaire unique donnée par*

$$P(n_1, n_2, \dots, n_k) = \prod_{i=1}^K P(n_i); \quad (2.24)$$

Ainsi, en régime stationnaire, un réseau de Jackson se comporte comme autant de files de type M/M/m isolées recevant leurs clients selon des processus de Poisson indépendants les uns des autres. Une distribution de la forme (2.24) est dite à forme produit et les réseaux associés, **des réseaux à forme produit**.

### 2.9.4 Les réseaux BCMP [1]

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 différente de FIFO. Les probabilités d'un acheminement de clients à travers ce type de réseau sont données par l'intermédiaire d'une chaîne de Markov, de probabilité de transition :

$$P = (P_{ir, jr'}); i = 0, \dots, N; j = 1, \dots, N + 1; r = 1, \dots, R; r' = 1, \dots, R. \quad (2.25)$$

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 puit 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.

### 2.9.5 Les réseaux avec blocage

Les phénomènes de blocage résultent 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 bloquée jusqu'à ce qu'une place se libère. Un exemple de ce type de modèle est représenté sur la figure suivante :

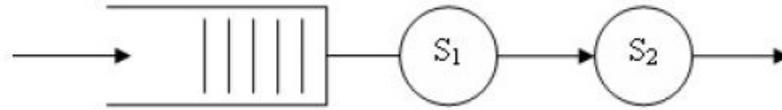


FIGURE 2.2 – Réseau de files d'attente avec blocage

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

La théorie des files d'attente connaît un regain d'intérêt depuis plusieurs années, trouvant qu'il y a plusieurs choses dans la vie pour lesquelles cela vaut la peine d'attendre, mais pas très longtemps. Donc, il s'agit d'estimer et d'améliorer les performances. Pour notre cas, cette présentation théorique des files d'attentes nous servira pour présenter et modéliser les mouvements d'arrivée et traitement du bois au niveau de l'EPB jusqu'à sa livraison aux clients.

# Simulation et Génération des Nombres Aléatoires

## Introduction

D'après la définition du verbe simuler qui veut dire faire semblant de, on peut dire que la technique de simulation est l'un des meilleurs moyens qui nous permettent de connaître la conception et de simuler le fonctionnement des systèmes dont l'étude analytique et directe est assez difficile, ou parfois impossible, tels que certains systèmes de files d'attente.

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

## 3.1 La simulation

La simulation est un outil d'aide à la décision puissant pour l'homme plus particulièrement l'industriel. La simulation permet de reproduire son fonctionnement sur ordinateur et comparer des scénarios d'exploitation.

On peut de cette manière, tester l'impact d'un investissement, d'une modification d'un paramètre, du lancement d'un nouveau produit sur une ligne de production, d'une autre règle d'ordonnancement, on peut mesurer le niveau d'un stock,....

La simulation permet donc, d'étudier un système réel de manière à comprendre son fonctionnement interne et externe et à prévoir son évolution sous certaines conditions

## 3.2 Approches de la simulation [12]

Comme la simulation tient une place importante dans les techniques numériques de l'Ingénieur, on connaît un essor considérable ceci est dû aussi bien à l'intérêt théorique que représente la modélisation des systèmes simulés, vu qu'elle est l'imitation de l'opération d'un système réel à travers d'un modèle. Elle comporte la génération d'une histoire artificielle du système et l'observation de cette histoire pour en déduire des caractéristiques du système. On distingue deux approches de la simulation.

### 3.2.1 Simulation à événements discrets

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

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

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

- Méthode basée sur les activités "Approche Activité";
- Méthode basée sur les événements "Approche Evénements";
- Méthode basée sur les activités des événements "Méthodes des 3 phases";
- Méthode par interaction des processus.

### 3.2.2 Simulation distribuée

Ce type de simulation consiste à faire coopérer plusieurs processus de simulation pour atteindre un objectif commun.

## 3.3 Notions de système, de modèle et de simulation

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

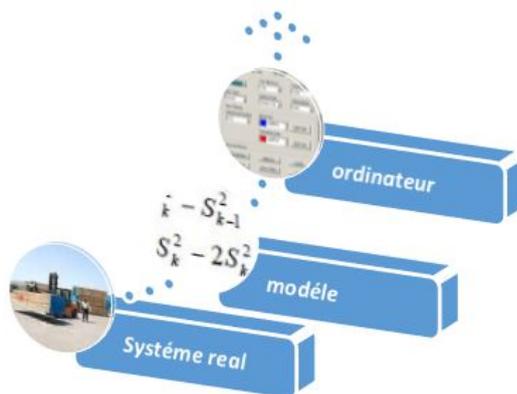


FIGURE 3.1 – Modèle de simulation

### 3.3.0.1 Notion de système

Un système est un regroupement de plusieurs éléments ou composantes. À n'importe quel instant, il est dans un état particulier défini par l'état de ses composantes et des relations qui les relient. L'état du système change quand l'état de ses composantes change, ou change la relation qui les relie.

### 3.3.0.2 Notion de modèle

Il existe une multitude de définitions du terme 'modèle'. Par modèles, On peut entendre "Des représentations schématiques de la réalité, élaborées en vue de la comprendre et de la faire comprendre" (Haggett,1973). Un modèle peut être considéré comme une représentation formelle de la théorie d'un système étudié (Wilson, 1974). Plus largement, les modèles peuvent être considérés comme une abstraction ou approximation de la réalité qui est réalisé à travers une simplification de relations complexes du monde réel pour les rendre compréhensibles et analytiquement maniables.

### 3.3.0.3 Notion de simulation

Beaucoup de définitions ont été attribuées au terme "Simulation", dans la littérature technique. En voici quelques'unes :

- Expérience conduite sur un calculateur à l'aide d'un modèle;
- Méthode numérique pour résoudre un problème en imitant la réalité;
- Représentation dynamique de la réalité obtenue en construisant un modèle et en le manipulant pendant un temps donné.

Parmi toutes ces définitions nous retenons celle donnée par A.A.B **Pritsker** auteur de langage **SLAM II** , et qui s'énonce comme suit :

"La simulation est l'étude du comportement dynamique d'un système, grâce à un modèle que l'on fait évoluer dans le temps en fonction de règle bien définies, à des fins de

prédiction”.

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

### 3.3.1 Étapes de la simulation

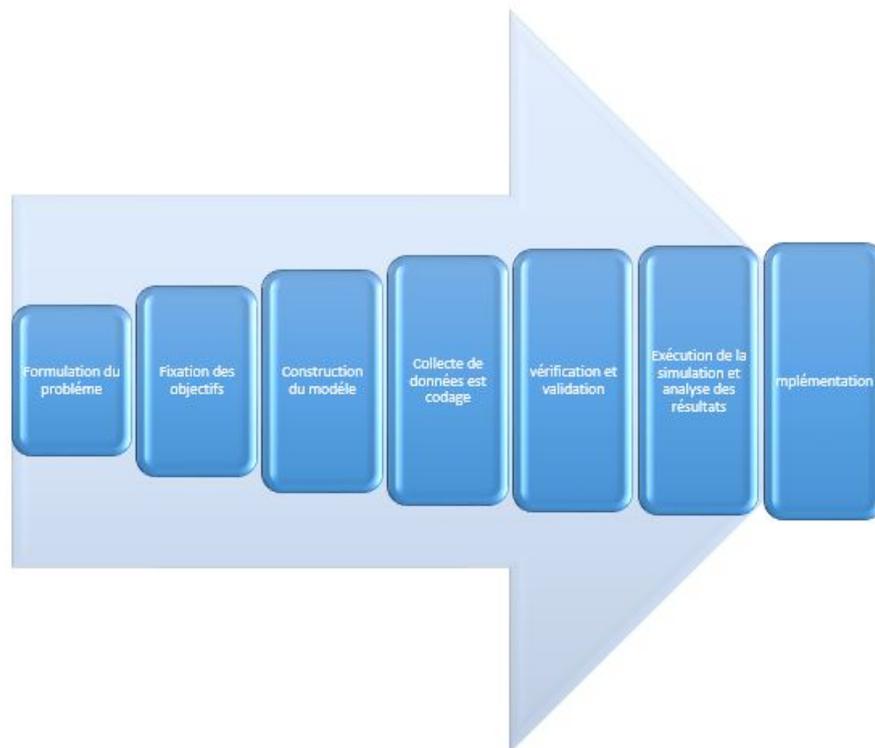


FIGURE 3.2 – Les étapes de simulation

- **Formulation du problème** : Le concepteur se doit d’isoler et de comprendre les caractéristiques essentielles du problème. Il s’agit de déterminer la frontière entre le système et son environnement, élaborer les objectifs de l’organisation, identifier les contraintes sur les activités possibles et établir les liens entre les entités du système et son environnement.
- **Fixation des objectifs** : Il faudra définir les objectifs visés par le projet de simulation. Ceci comprend :
  - Les questions auxquelles on devra apporter une réponse ;
  - Les sorties attendues ;
  - Les coûts de l’étude ainsi que les temps requis ;
  - Etc.
- **Construction du modèle** : En construisant un modèle, on devrait faire de notre mieux afin qu’il soit le mieux représentatif du système. On n’entend pas par là qu’il

reflète exactement le système, car ce n'est ni nécessaire ni possible dans certains cas ; mais qu'il nous permette de représenter le mieux les paramètres sur lesquels porte notre étude. Il faut préciser que dans cette étape, un effort supplémentaire pour une complication inutile, n'entraîne qu'un supplément du temps de traitement sur machine, un encombrement en mémoire et des tests de validations plus ou moins compliqués.

- **Collecte de données** : Une fois le problème est formulé et les objectifs visés identifiés, il faudra établir un inventaire des besoins en données sur le système réel, puis de collecter ces données et de les ajuster éventuellement à des distributions de probabilités connues en faisant appel à des tests statistiques adéquats.
- **Codage** : Il s'agit de traduire le modèle conceptuel obtenu dans une forme acceptable par ordinateur (programme appelé aussi modèle opérationnel).
- **Vérification** : Il s'agit d'évaluer les performances de notre programme en vérifiant si sa transcription informatique correspond bien au modèle. Le concepteur doit vérifier si la logique du système est conservée.
- **Validation** : La validation consiste à s'assurer que le modèle conceptuel est une représentation fidèle du système réel. Il s'agit de s'avoir si le modèle peut être substitué au système réel pour le but de l'expérimentation.

Dans le cas où le système existe, la façon idéale de valider le modèle conceptuel est de comparer ses sorties avec celles du système. Malheureusement, on n'a pas toujours cette possibilité surtout dans les projets de conception de nouveaux systèmes.

- **Conception d'un cadre d'expérimentation** : Il s'agit de définir pour chaque scénario devant être simulé ou expérimenté un certain nombre de paramètres tel que :
  - Durée de la simulation ;
  - Nombre de simulation à faire (réplications) ;
  - Etat initial du modèle ;
  - Règles de gestion des files d'attente.
- **Exécution de la simulation et analyse des résultats** : Le modèle opérationnel ou programmé est le support principal pour réaliser une simulation sur ordinateur. Il sera analysé et interprété par le simulateur qui délivre en sortie des résultats purement statistique. L'analyse de ces résultats aura pour objectif d'estimer les mesures de performance des scénarios qu'on a expérimenté.
- **Exécution supplémentaire** : Cette étape consiste à déterminer si d'autres simulations doivent être faites, si d'autres scénarios non prévus doivent être expérimentés afin de s'assurer que le modèle répond bien aux objectifs visés.
- **Documentation** : La documentation est nécessaire pour différentes raisons :
  - Aide à comprendre le fonctionnement du modèle ;
  - Facilite toute modification ou mises à jour du modèle ;
  - Permet de revoir toutes les alternatives prises en considération, les critères de

comparaison qui ont été utilisés. Ceci va aider dans la prise de décision qui sera principalement basée sur les résultats fournis par la simulation et rapportés dans la documentation.

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

### 3.3.2 Concepts liés à la simulation [4]

1. **Variables d'état** : Les variables d'état d'un système sont toutes les informations nécessaires pour définir ou caractériser ce qui est en train de se passer dans le système à un niveau de détail suffisant et ce à un instant donné.
2. **Entités** : Les entités désignent des objets du système modélisé. Le terme en lui-même peut désigner aussi bien des objets passifs qui subissent des opérations que des objets actifs qui réalisent des opérations. Donc, ce sont des objets qui subissent des opérations et se déplacent en général dans le système (pièces, client dans une banque, message dans un réseau,...).
3. **Les ressources** : Ce sont des objets qui exécutent des opérations et en général ne se déplacent pas dans le système (Machine, Opérateur, Unité centrale,...). Cependant, il faut noter qu'il est tout à fait possible de rencontrer en pratique des objets de type ressource qui se déplacent à l'intérieur du système tout en exécutant l'opération (chariot transportant une pièce dans un atelier).
4. **Les attributs** : Un objet (entité ou ressource) est caractérisé par un ou plusieurs attributs auxquels on peut affecter des valeurs. Ainsi, les attributs peuvent être considérés comme des variables locales à l'objet. On distingue cependant deux types d'attributs :
  - **Fixes** : contiennent les caractéristiques constantes de l'objet (durée de service, date d'arrivée dans le système,...).
  - **Variables** : contiennent les caractéristiques changeantes de l'objet (état d'une ressource, longueur de la file associée à une ressource,...)
5. **Évènement** : Un évènement est caractérisé par une date (date d'évènement) à laquelle le système change d'état. On distingue les évènements internes au système (endogènes) et externes (exogènes).
6. **Activité** : A chaque évènement les objets concernés s'engagent dans des opérations. Ces opérations qui sont initiées (ou terminées) à chaque évènement sont appelées des activités. Toute activité est limitée à son début et à sa fin par un évènement.
7. **Processus** : Un processus est le regroupement d'une séquence d'évènements dans l'ordre chronologique dans lequel ces évènements se produiront. Comme les évènements peuvent initier des activités, un processus peut inclure aussi des activités.

8. **Contrôle du temps dans une simulation** : Le contrôle du temps dans une simulation se fait principalement selon l'une des deux méthodes suivantes :
- **Méthode à pas constant (Approche temps)** : C'est une méthode simple et facile à programmer qui consiste à se fixer au début de la simulation une unité de temps  $\Delta t$  avec laquelle on incrémentera l'horloge. A chaque incrémentation on cherche les évènements qui peuvent se produire ou les activités qui peuvent démarrer et on les traite.
  - **Méthode à pas variable (Approche Événement)** : Cette méthode est beaucoup plus économique en terme de temps de calcul. On répertorie dans un échéancier par ordre chronologique la liste des évènements avec leurs dates d'occurrence. L'incrémentatation du temps de la simulation se fait d'une date d'événement à une autre. Cette méthode est de loin la plus fréquemment utilisée vue son efficacité relativement à la méthode à pas constant.

### 3.4 Génération des nombres aléatoires

Toute simulation de phénomènes aléatoires, qu'elle que soit leur nature, se fait par le biais des nombres aléatoires. Il est donc de la première importance de disposer de méthodes fiables et efficaces pour les générer. La génération des nombres aléatoires constitue donc le premier pas de la création de variables aléatoires indépendantes de lois données. Générer des nombres aléatoires revient à créer une suite d'entiers :

$$I_{n+1} = f(I_n) ;$$

Où :  $f$  est une fonction qui doit être choisie judicieusement pour que la répartition des nombres  $I_n$  ne puisse pas être distinguée de ce que donnerait le hasard. On parle alors de nombres pseudo-aléatoires. La suite peut fournir  $m$  nombres aléatoires dans l'intervalle  $[0, m - 1]$ . La valeur de départ  $I_0$ , appelée graine (seed), doit être fournie par l'utilisateur.

La même graine donnera toujours la même suite de nombres. D'autre part, la suite se reproduit au bout d'un nombre de valeurs appelé période. Cette période doit être la plus grande possible. Si la fonction  $f$  a été correctement choisie, chaque nombre a la même probabilité d'apparaître. On dit que les nombres aléatoires suivent une loi uniforme.

#### 3.4.1 La méthode des congruences linéaires

Imaginé par HR Lehmer en 1951, cette méthode demeure de loin la plus répandue. Il s'agit d'une récurrence, où la fonction est égale à :

$$\varphi(x) = (ax + c) \bmod m \tag{3.1}$$

Les paramètres de la méthode sont le modulus  $m$  qui est un entier positif généralement de grande taille, le multiplicateur  $a$ ,  $0 < a < m$ , et l'incrément  $c$ ,  $0 \leq c < m$ .

Partant d'un germe initial  $y_0 \in 0, 1, \dots, m-1$ , les différents termes de la suite s'obtiennent donc à l'aide de la récurrence.

$$y_k = (ay_0 + c) \bmod m; k=1, 2, \dots \tag{3.2}$$

Un **générateur congruentiel** est dit **multiplicatif** si son incrément  $c$  vaut zéro et mixte dans le cas contraire.

Précisons qu'il existe d'autres générateurs de nombres pseudo-aléatoires, à savoir :

- Générateur physique ;
- Générateur AWC ;
- Générateur SWB.

### 3.4.2 Méthodes de génération des variables aléatoires

Soit  $X$  une variable aléatoire de fonction de densité  $f(x)$  et de fonction de répartition  $F(x)$  non nécessairement connue analytiquement. Pour simuler des variables aléatoires de loi donnée, on dispose de plusieurs méthodes. Parmi ces méthodes, certaines s'appliquent à la génération de variables aléatoires de distribution quelconque, alors que d'autres ne s'appliquent qu'aux distributions continues ou discrètes.

#### 3.4.2.1 Génération d'une loi uniforme sur $[a, b]$

Pour générer une suite de données aléatoires de distribution uniforme  $U_i$  sur l'intervalle  $[a, b]$ , il suffit de générer (par un générateur congruentiel par exemple) des nombres entiers aléatoires  $X_i$  entre 0 et  $(m-1)$  et les transformer par la formule :

$$U_i = a + (b - a) \frac{X_i}{m - 1} \tag{3.3}$$

### 3.4.2.2 L'inversion de la fonction de répartition

La méthode de la transformation inverse peut s'utiliser pour générer n'importe quelle variable aléatoire à condition que l'on connaisse analytiquement la fonction de répartition inverse  $F^{-1}(x)$ .

Elle est basée sur le théorème suivant :

**Théorème 3.4.1** *Soit  $X$  une variable aléatoire de fonction de répartition  $F(x)$ . Alors  $U$  la variable aléatoire définie par  $U=F(X)$  a une distribution Uniforme  $[0,1]$ .*

En effet, si la fonction de répartition de la loi est  $F$  de la v.a  $X$  et  $U$  une variable aléatoire de loi uniforme sur  $[0,1]$ , alors la loi de  $X = F^{-1}(U)$  a comme fonction de répartition  $F$ .

On utilise cette méthode pour les variables aléatoires à valeurs discrètes, la loi exponentielle, la loi de Weibull, etc.

**Exemple 3.4.1** *Soit  $X$  une variable aléatoire, qui suit une loi exponentielle de paramètre  $\lambda > 0$ , et sa densité de probabilité est donnée par :*

$$f(x)= \lambda \exp(-\lambda x), x \geq 0; (3.4)$$

sa moyenne et sa variance sont respectivement :  $\frac{1}{\lambda}$  et  $\frac{1}{\lambda^2}$

On la génère de la manière suivante :

$$X_i = \frac{-1}{\lambda} \log(U_i) \tag{3.5}$$

### 3.4.2.3 Méthode de convolution

Quand la variable à générer peut s'exprimer comme une somme d'autres variables que l'on peut générer facilement :  $X = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$ , générer les  $Y_i$  et obtenir  $X$  en les sommant.

**Exemples de transformations exactes :**

- Une  $\chi^2$  est une somme de  $n$  Normales  $(0,1)$  indépendantes au carré.
- Une gamma est une somme d'exponentielles.

**Génération d'une variable qui suit une loi normale :**

$X$  suit une loi normale  $N(m, \sigma)$  lorsque la densité de sa loi est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2}$$

La fonction de répartition de la loi normale ne peut pas être explicitée, la méthode d'inverse ne s'applique pas. On la génère de la manière suivante :

$$X = \sigma y + m$$

où :

$Y$  est une variable aléatoire normale centrée réduite, calculée à partir d'une suite de  $n$  variables aléatoires  $U_1, U_2, \dots, U_n$  uniformément distribuées entre  $[0, 1]$ .

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n U_i - \frac{n}{2}}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \tag{3.6}$$

**3.4.2.4 Transformation de variables**

De façon générale, si on sait exprimer la variable à générer  $X$  comme une fonction  $g(Y_1, Y_2 \dots Y_n)$  d'une ou plusieurs variables  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  que l'on sait facilement générer, on peut appliquer le même principe que pour la convolution.

Par exemple, la transformation de Box et Muller peut-être utilisée pour générer un couple de variables aléatoires de loi Normale  $N(0,1)$ , indépendantes à partir de deux variables aléatoires uniformes.

**3.4.2.5 La méthode de rejet**

La méthode de rejet peut s'utiliser pour la génération de n'importe quel type de variable aléatoire, évite le calcul de  $F^{-1}$ , dans le cas où il n'est pas possible d'exprimer cette fonction explicitement. Elle consiste à générer des données suivant une distribution de fonction de densité proche de celle désirée et ensuite d'éliminer une certaine proportion de ces données de manière à se ramener à des données qui suivent la distribution attendue.

Plus précisément, soit  $f(x)$  la densité de la variable aléatoire à générer et soit  $g(x)$  une fonction de densité et  $c$  une constante positive telles que  $f(x) \leq cg(x)$  pour toute valeur de  $X$ . On suppose que  $g(X)$  est telle que la fonction de répartition associée  $G(x)$  est analytiquement connue ainsi que son inverse  $G^{-1}(x)$ .

L'algorithme à suivre est alors le suivant :

1. Générer  $U_1$  de distribution  $U[0,1]$
2. Calculer  $X = G^{-1}(U_1)$  ;
3. Générer  $U_2$  de distribution  $U[0,1]$  ;
4. Si  $c \times g(X) \times U_2 \leq f(X)$ , alors on garde  $X$  comme donnée générée sinon on la "jette" et on recommence à l'étape 1.

L'efficacité de la méthode est définie comme le taux de points acceptés en moyenne et se mesure par le rapport entre les surfaces sous les courbes  $f(x)$  et  $cg(x)$ . Ce rapport vaut  $1/c$ .

### Application à la variable Normale

Pour la génération de données de distribution d'une loi Normale  $N(0,1)$ , on suggère en général d'approximer la densité de la loi Normale par une loi exponentielle. Comme la variable exponentielle est toujours positive, le principe consiste à générer une donnée positive et à ensuite, par tirage aléatoire, décider de mettre un signe positif ou négatif à la donnée.

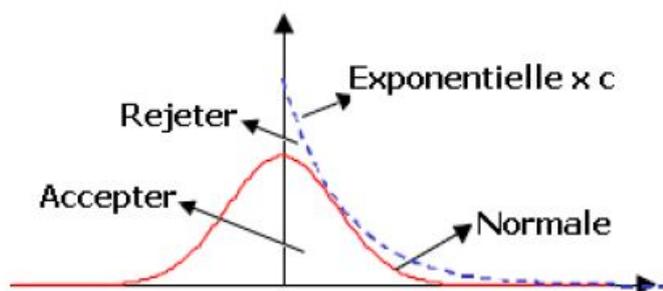


FIGURE 3.3 – Génération par la méthode de rejet d'une loi Normale

La fonction  $g(x)$  vaut donc  $g(x) = e^{-x}$  La fonction de répartition  $G(x) = 1 - e^{-x}$  et son inverse  $G^{-1}(x) = -\ln(1 - u)$ . Où  $u$  est une variable aléatoire de distribution  $U[0,1]$ .

#### 3.4.2.6 Génération d'une variable aléatoire discrète

Soit  $X$  une variable aléatoire discrète dont les valeurs possibles sont  $x_1, x_2, \dots, x_k$  et les probabilités associées :  $p_1, p_2, \dots, p_k$ . Le principe à utiliser pour générer une instance de  $X$  est le suivant :

- Générer  $U$  de distribution  $U[0,1]$  ;
- Donner à  $X$  la valeur  $x_j$  .

Si

$$\sum_{i=1}^{j-1} p_i \leq U \leq \sum_{i=1}^j p_i \quad (3.7)$$

Graphiquement, il s'agit de diviser l'intervalle  $[0, 1]$  en  $k$  intervalles de longueurs  $p_1, p_2 \dots p_k$  et regarder dans quelle partie de l'intervalle  $U$  tombe et donner à  $X$  la valeur  $x_i$  associée au sous intervalle.

### 3.4.3 Validation d'un générateur de nombres aléatoires :

Un générateur est dit valide si et seulement si :

- Les nombres générés sont uniformes dans l'intervalle  $[0, 1]$ , pour cela on utilise les tests de Khi-Deux ou de Kolmogorov-Smirnov.
- Ce test est utilisé pour vérifier si toutes les observations sont indépendantes ;
- L'adéquation de la loi de l'échantillon par rapport à la loi théorique. Ils existent plusieurs tests qui vérifient ces propriétés on cite en particuliers : Tests de Khi-Deux, Kolmogorov-Smirnov, Test des séquences-Run,...

### 3.4.4 Tests d'ajustement

#### 3.4.4.1 Test de Kolmogorov-Smirnov

Soit  $X_1, X_2, \dots, X_n$  un n-échantillon issu d'une variable aléatoire  $X$  que l'on veut ajuster par une loi théorique  $F_0(x)$ . Soit  $F_n(x)$  sa fonction de répartition empirique. Kolmogorov a démontré que la variable aléatoire :

$$D_n = \max_{i \in R} | F_n(x) - F_0(x) |; \tag{3.8}$$

suit asymptotiquement une loi indépendante de  $F_0$  :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(\sqrt{n}D_n < x) = K(x);$$

Avec :

$$K(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0; \\ \sum_{-\infty}^{+\infty} (-1)^j e^{-2j^2 x^2}, & x > 0. \end{cases}$$

Cette fonction est tabulée (table de Kolmogorov-Smirnov).

Soit  $d(\alpha)$  la valeur tabulée, telle que  $P(D_n > d(\alpha)) = \alpha$ . La règle de décision est alors de la forme :

Si  $D_n > d(\alpha)$ , on rejette l'ajustement de la variable aléatoire  $X$  par la loi choisie.

Si  $D_n < d(\alpha)$ , on accepte l'ajustement de la variable aléatoire  $X$  par la loi choisie.

### 3.4.4.2 Test de Khi-deux

Soit  $X_1, X_2, \dots, X_n$  un n-échantillon issu d'une variable aléatoire X. On partage le domaine D de la variable X, partie de l'ensemble des réels R, en r classes  $c_1, c_2, \dots, c_r$ .

Généralement, on prend  $r \simeq \sqrt{n}$  Soit :

- $n_i$  : l'effectif de la classe  $c_i$ ;
- $p_i$  : la probabilité de se trouver dans la classe  $c_i$ . Elle est déduite à partir de la loi de probabilité à tester ;
- $n_i p_i$  : effectif théorique de la classe  $c_i$ .

Pearson a démontré que la variable aléatoire

$$K_n^2 = \sum_{i=1}^r \left( \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i} \right) \quad (3.9)$$

Suit asymptotiquement un Khi-deux à (r-1) degrés de liberté.  $N_i$  étant la variable aléatoire représentant l'effectif de la classe  $c_i$  et dont la réalisation est  $n_i$ . Soit  $K_n^2$  la réalisation de la variable aléatoire  $K_n^2$ .

La règle de décision est alors de la forme :

Si  $K_n^2 < \chi_{(r-1, \alpha)}^2$ , on accepte l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

Si  $K_n^2 > \chi_{(r-1, \alpha)}^2$ , on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

Lorsque les paramètres de la loi à valider sont estimés à partir de l'échantillon, le degré de liberté du Khi-deux est alors égal à (r-q-1), q étant le nombre de paramètres estimés.

L'application du test du Khi-deux doit satisfaire les conditions suivantes :

- le nombre de classes doit être supérieur ou égal à 7 ;
- l'effectif théorique  $np_i$  de chaque classe doit être supérieur ou égal à 8 ;
- les effectifs théoriques des r classes doivent être sensiblement égaux.

### 3.4.4.3 Test des séquences-Run

Le principe de ce test est :

- On considère les données telles sont collectées. L'échantillon doit être divisé en deux classes. Soient  $n_1, n_2$  le nombre d'observations de la classes 1 et 2 respectivement.
- On enregistre un (+) si les observations sont dans la classe 1, et un (-) si celle-ci sont dans la classe 2.

On compte le nombre r de séquences homogènes de (+) et (-).

- On définit ensuite un seuil de signification  $\alpha$
- on accepte  $H_0$  : Les observations sont indépendantes, si r est compris entre les valeurs critiques  $n_1 \leq 20$  et  $n_2 \leq 20$ . Dans le cas où  $n_1 > 20$  et  $n_2 > 20$ , on utilisera le résultat suivant :

$$r \rightarrow N\left[\frac{2n_1n_2}{n} + 1, \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{n^2(n-1)}\right] \quad (3.10)$$

## 3.5 Les résultat (sortie) d'une simulation et analyse Statistique

voici les trois cas possibles

### 3.5.1 Cas d'une simulation "comportementale"

On veut simplement tester et observer le comportement d'un système et s'assurer du bon fonctionnement du système. Il s'agit d'une simulation dont le résultat est purement qualitatif (elle ne donne donc pas lieu à une analyse statistique )

### 3.5.2 Cas d'une simulation "terminale"

L'estimation s'arrête à l'apparition d'un évènement particulier désigné à l'avance. Dans ce types de simulation , on cherche à évaluer le temps nécessaire pour parvenir à une situation donnée et/ou à déterminer l'enchaînement des évènements qui conduit à cette situation.

### 3.5.3 Cas d'une simulation dite " infinie"

On utilise dans ce cas la suite des évènements produits par la simulation pour évaluer une ou plusieurs grandeurs(le débit d'un réseau, le taux de charge d'un serveur, la fréquence d'occurrence d'une panne,etc...).

## 3.6 Avantages et inconvénients de la simulation

La simulation permet l'expérimentation sur un modèle d'un système. Sans un modèle, on expérimente soit avec un système réel (s'il existe) - causant probablement des interruptions majeures - ou travailler sans de telles expérimentations et analyses - avec un certain risque potentiel.

La simulation permet l'identification des problèmes avant la construction ou la modification d'un système. Elle permet, aussi, la comparaison de plusieurs alternatives de conception. L'évaluation et les comparaisons peuvent être effectuées avant de louer les ressources et les investissements à un projet.

D'autre part, les simulations sont souvent consommatrices de temps, les données ne sont pas disponibles ou sont coûteuses à obtenir, et le temps disponible avant que les

décisions doivent être prises n'est pas suffisant pour une étude fiable. En plus, des analystes inexpérimentés, ou ceux qui se focalisent trop sur les logiciels de simulation peuvent ajouter beaucoup de détails au modèle et perdre beaucoup de temps dans le développement du modèle ce qui conduit à la déviation des objectifs initiaux du projet.

## **Conclusion**

La simulation est l'une des méthodes de modélisation. Elle étudie le comportement d'un système à travers quelques périodes, en construisant un deuxième système ayant la même structure que l'original, mais il est plus simple à manipuler. Les méthodes et les techniques abordées dans ce chapitre serviront à évaluer les performances, par la simulation.

# Modélisation et Simulation

## Introduction

Dans ce chapitre, nous allons évaluer les performance du terminal à bois de l'entreprise portuaire de Bejaïa. Sachant qu'il n'y a que l'importation de la marchandise bois (pas d'exportation). Pour cela, nous construisons un modèle mathématique qui présentera les principaux mouvements des fardeaux de bois dans le port, et comme le bois ne dispose pas de quais spécialisés pour son traitement et qu'il est considéré comme toute autre marchandise. Nous allons considéré le processus de son débarquement comme un système de file d'attente avec vacances tel que :

- **L'activité** = la durée de service (débarquement) des navires de bois.
- **La vacance** = la durée de service (embarquement/ débarquement) d'autres navires.

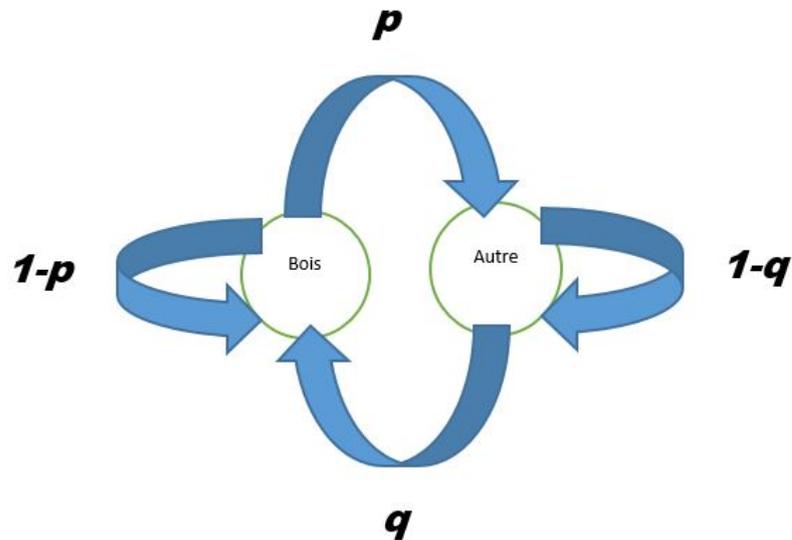


FIGURE 4.1 – Etat du modèle réel

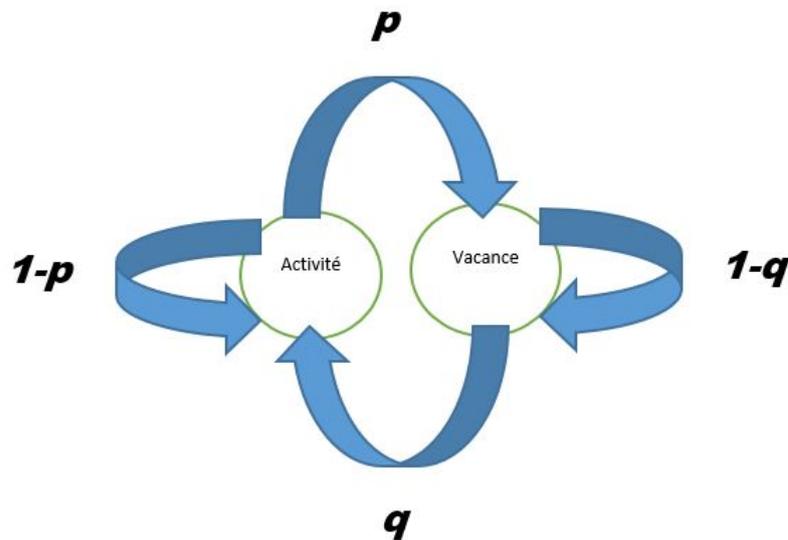


FIGURE 4.2 – Etat du modèle avec vacance

Au vue de la complexité du modèle global, il n'est pas possible d'analyser et de calculer analytiquement ses caractéristiques. C'est pourquoi nous allons faire appel à l'approche simulation.

Dans cette étude, nous avons pensé à aborder le problème d'une manière à séparer les différents processus qui se font dans le parc. On a dégagé deux sous systèmes :

- **Le processus Débarquement** : Dans ce processus, on s'intéressera aux opérations :
  1. Arrivée des navires de bois.
  2. Débarquement des fardeaux du bois.
- **Le processus de livraison (enlèvements)** : Après le transfert des fardeaux de bois vers la zone de stockage, les clients réclament leurs marchandises après des délais qui diffèrent d'un clients à un autre. Donc le processus de livraison se fait vers l'extérieur.

## 4.1 Description des principaux mouvements de bois

### 4.1.1 L'étape de mouillage

Tout navire arrivant au port est mis en attente dans la rade (zone de mouillage) pendant une durée qui varie d'un navire à un autre, en raison de l'occupation des postes à quai .

### 4.1.2 Services Accostage

- **Le pilotage** : Il est assuré de jour comme de nuit par la Direction Capitainerie et c'est obligatoire à l'entrée et à la sortie du navire. Il consiste à assister le commandant dans la conduite de son navire à l'intérieur du port.
- **Le lamanage** : Il consiste à amarrer ou désamarrer le navire de son poste d'accostage.

### 4.1.3 Traitement de navires

Le traitement se fait principalement en trois étapes :

1. **Service avant opérations** : c'est l'étape préparatoire du navire pour le débarquer.
2. **Débarquement** : c'est le débarquement des fardeaux de bois. Cela s'effectue avec des grues qui les entroposent sur le quai, les chariots élévateurs à leurs tours les soulevent et les mettent sur des camions remorqueurs.
3. **Service après opération** : c'est l'étape préparatoire du navire pour l'accostage vers l'extérieur.

### 4.1.4 Le transfert, le stockage et la livraison

Une fois le bois débarqué sur le camion remorqueur, il sera transporté vers la zone d'entroposage et déchargé par des chariots élévateurs, en suite empilé et entreposé dans le parc à bois jusqu'à ce que le client réclame sa marchandise par la suite.

## 4.2 Description des modèles

### 4.2.1 Recueil de données

Les données utilisées pour identifier les loi des arrivées ou bien des services pour le processus de débarquement du bois et embarquement/débarquement d'autre marchandise s'étalent sur une periode de plus de trois ans soit de décembre 2012 jusqu'à janvier 2016 et pour celle de livraison nous avons pu les collecter pendant deux mois (mars et avril 2016), toutes ces données nous ont été fournis par la direction de manutention et acconage de l'EPB.

### 4.3 Description des différents modèles

Le modèle mathématique adéquat à ce processus peut être représenté par le schéma suivant :

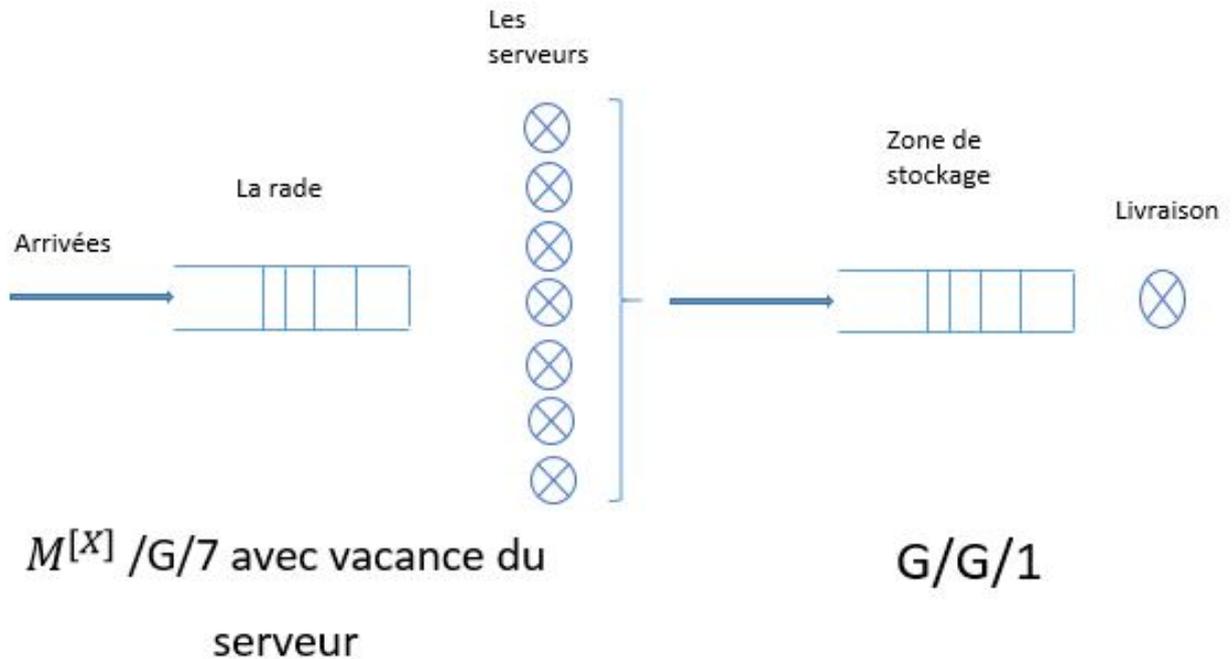


FIGURE 4.3 – Le modèle de processus

#### 4.3.1 Le processus "Débarquement"

#### 4.3.2 Identification des différentes lois de processus de débarquement

##### 4.3.2.1 Loi des inter-arrivées des navires à débarquer

L'intervalle de temps séparant l'arrivée de deux navires successifs en minutes, noté  $X$ , est calculé à partir de la formule suivante :

$$X = (DM_j - DM_{j-1}) * 1440 + (HM_j - HM_{j-1}) * 60 + MM_j - MM_{j-1}$$

- $DM_j$  = date de mouillage de  $j^{me}$  navire,
- $HM_j$  = heurs de mouillage de  $j^{me}$  navire,
- $MM_j$  = minute de mouillage de  $j^{me}$  navire,

| Variable | Loi | KS-calc | KS-tab | Taille échantillon | Paramètre       |
|----------|-----|---------|--------|--------------------|-----------------|
| X        | EXP | 0.0427  | 0.0625 | 466                | $3.3882 * 10^3$ |

TABLE 4.1 – Ajustement de la loi des inter-arrivées des navires à débarquer

**Interprétation**

On accepte l’ajustement de la variable  $X$  par la loi Exponentielle, car la valeur calculée de la statistique est inférieure à la valeur tabulée qui lui correspond au seuil de confiance  $\alpha = 0.05$ .

**4.3.2.2 Loi des services de débarquement**

Soit  $X_i$  la variable représentant la durée en minute de débarquement de chaque navire de bois au niveau du poste à quai  $i$ .

| Variable | Loi     | KS-calc | KS-tab | Taille échantillon | Moyenne | Variance |
|----------|---------|---------|--------|--------------------|---------|----------|
| $X_8$    | Normale | 0.1445  | 0.1884 | 50                 | 3756.1  | 2136.2   |
| $X_{11}$ | Normale | 0.1274  | 0.2076 | 41                 | 4147.5  | 1938.5   |
| $X_{12}$ | Normale | 0.0921  | 0.1737 | 59                 | 4970.6  | 2306.5   |
| $X_{13}$ | Normale | 0.1395  | 0.1696 | 62                 | 4244.4  | 2397.6   |
| $X_{14}$ | Normale | 0.1038  | 0.1038 | 52                 | 4811.8  | 1756.6   |
| $X_{18}$ | Normale | 0.1348  | 0.1515 | 78                 | 4864.2  | 2513.8   |
| $X_{19}$ | Normale | 0.1679  | 0.1723 | 60                 | 3823.8  | 2115.8   |

TABLE 4.2 – Ajustement de la loi de chaque service de débarquement

**Interprétation**

On accepte l’ajustement de la variable  $X_i$  par la loi Normale, car les valeurs calculées de la statistique sont inférieures aux valeurs tabulées qui leur correspondent pour chaque poste à quai au seuil de confiance  $\alpha = 0.05$ .

**4.3.2.3 Loi de la vacance de chaque services de débarquement**

Soit la variable  $V_i$  représentant la durée en minutes pour le débarquement des autres navires qui correspond à la loi de vacance au niveau du poste à quai  $i$ .

| Variable | Loi     | KS-calc | KS-tab | Taille échantillon | Moyenne | Variance |
|----------|---------|---------|--------|--------------------|---------|----------|
| $V_8$    | Normale | 0.1000  | 0.1302 | 106                | 4809.0  | 3249.5   |
| $V_{11}$ | Normale | 0.1173  | 0.1215 | 122                | 5737.3  | 4177.5   |
| $V_{12}$ | Normale | 0.0840  | 0.0850 | 251                | 4955.3  | 3297.4   |
| $V_{13}$ | Normale | 0.0835  | 0.0877 | 236                | 5195.0  | 3209.2   |
| $V_{14}$ | Normale | 0.0838  | 0.1066 | 159                | 7400.1  | 4273.8   |
| $V_{18}$ | Normale | 0.0886  | 0.0906 | 221                | 5076.6  | 3481.1   |
| $V_{19}$ | Normale | 0.1186  | 0.1215 | 122                | 5076.6  | 3481.1   |

TABLE 4.3 – Ajustement de la loi de la vacance de chaque services de débarquement

### Interprétation

On accepte l'ajustement de la variable  $V_i$  par la loi Normale, car les valeurs calculées de la statistique sont inférieures aux valeurs tabulées qui leur correspondent pour chaque poste à quai au seuil de confiance  $\alpha = 0.05$ .

#### 4.3.2.4 Probabilité de vacance et de service

Pour la détermination de la probabilité de la vacance et la probabilité du service respectivement (p,q) pour chaque poste à quai, nous l'avons calculé à partir de nos échantillon comme suit :

$$q_i = \frac{\text{Nombre de navires bois traits dans le poste } i}{\text{Nombre total des navires traits dans le poste } i}$$

On pose :

$$q_i = 1 - p_i;$$

d'où :

$$p_i = 1 - q_i.$$

| Poste | 8      | 11     | 12     | 13     | 14     | 18     | 19     |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| p     | 0.4808 | 0.3742 | 0.3226 | 0.2752 | 0.3555 | 0.3679 | 0.1003 |
| q     | 0.5192 | 0.6258 | 0.6774 | 0.7248 | 0.6445 | 0.6321 | 0.8997 |

TABLE 4.4 – Les probabilités (p,q)

#### 4.3.2.5 Identification de la loi de la taille des groupes de fardeaux de bois à débarquer

| Variable | Loi      | KS-calc | KS-tab | Taille échantillon | Min  | Max |
|----------|----------|---------|--------|--------------------|------|-----|
| Y        | Uniforme | 0.1408  | 0.1696 | 62                 | 2763 | 318 |

TABLE 4.5 – Ajustement de la loi de la taille des groupes de fardeaux de bois à débarqués

On accepte l'ajustement de la variable Y par la loi exponentielle, car la valeur calculée de la statistique est inférieure à la valeur tabulée qui lui correspond au seuil de confiance  $\alpha = 0.05$ .

### 4.3.3 Le processus stockage

#### 4.3.3.1 Le processus Débarquement-Enlèvement

La performance cherchée est le nombre moyen de fardeaux de bois dans le parc.

### 4.3.3.2 Identification de la loi de service

| Variable | Loi      | KS-calc | KS-tab | Taille échantillon | Min | Max  |
|----------|----------|---------|--------|--------------------|-----|------|
| Z        | uniforme | 0.1310  | 0.1848 | 52                 | 199 | 1587 |

TABLE 4.6 – Ajustement de la loi de service enlèvement

On accepte l'ajustement de la variable Z par la loi exponentielle, car la valeur calculée de la statistique est inférieure à la valeur tabulée qui lui correspond au seuil de confiance  $\alpha = 0.05$ .

## 4.4 Résolution par simulation

D'après l'analyse préliminaire des modèles de débarquement (identification des lois des processus), on conclut que l'évaluation des performances du terminal à bois de l'entreprise portuaire de Béjaïa est réellement un problème complexe. En effet, le système est modélisé par un réseau de files d'attente quelconque, car il est constitué de systèmes de files d'attente de type M/G/S avec vacances, G/G/1,... On ne peut donc pas utiliser des méthodes analytiques (comme pour les réseaux de Jackson ou BCMP) pour obtenir ses caractéristiques. A cet effet, nous avons conçu un simulateur pour chaque modèle sous l'environnement Matlab pour évaluer ses performances et déterminer le nombre optimale des postes à quai à allouer pour le service bois. L'organigramme suivant représente les étapes suivies pour la simulation :

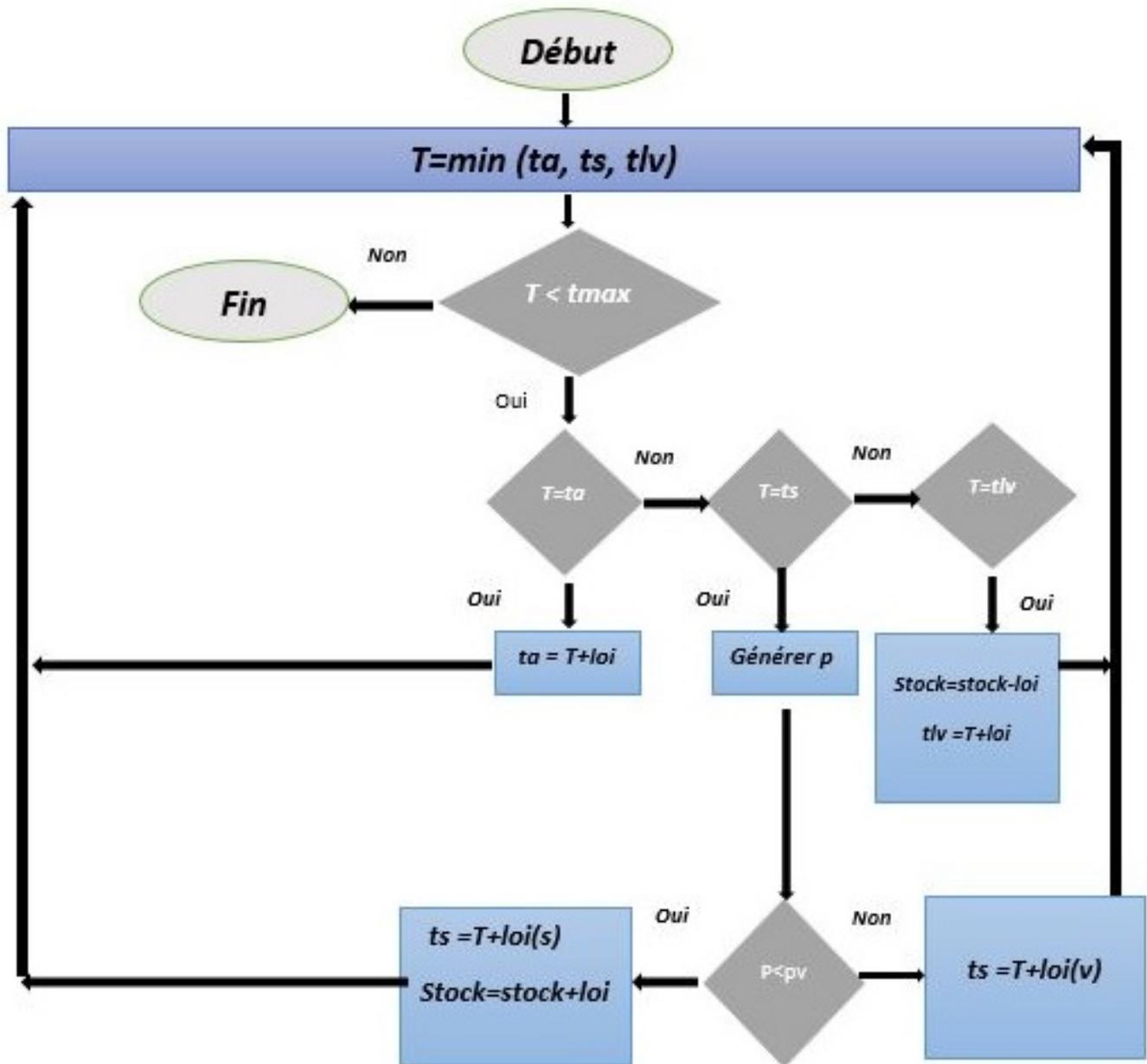


FIGURE 4.4 – Organigramme de la simulation

#### 4.4.1 Calcul des performances par la simulation

Après les tests de validation du simulateur et son exécution avec tous les serveurs (poste à quai), il nous ont fournis les résultats résumés dans le tableaux suivant :

| Nb-moy-navire-rade | Nb-moy-navire-sys | Séjour-navire(jour) | Nbr-moy-fard-stock | Nbr-moy-navire-traités(mois) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|
| 1.5041             | 3.3098            | 3.4455              | 7575.9             | 15.2500                      |

TABLE 4.7 – Les performances du terminal dans les conditions actuelles

- La première colonne du tableau représente le nombre moyen de navire en rade sur une durée d’une année.
- La deuxième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire dans le système sur une durée d’une année.
- La troisième colonne du tableau représente le temps moyen de séjour d’un navire dans le système sur une durée d’une année.
- La quatrième colonne du tableau représente le nombre moyen de fardeaux dans la zone de stockage sur une durée d’une année.
- La cinquième colonne du tableau représente le nombre moyen de navires traités sur une durée d’une année.

### Interprétation

Les résultats de la simulation montrent que le nombre moyen de navires dans la rade et dans le système sont respectivement 1.5041 navires et 3.3098 navires, le séjour d’un navire est de 3.4455 jours et le nombre moyen de fardeaux en stock est 7575.9 fardeaux. et le nombre moyen de navires traités est de 15.25 navires/mois ;

## 4.4.2 Calcul des performances en cas de changement de la politique de service

Après la simulation avec les conditions actuelles, nous avons pensé à changer la politique de service et évaluer les performances du terminal à bois en cas d’allocation des postes à quai spécialisés pour le traitement du bois (sans vacances des serveurs), et en fin les comparer avec les performances obtenues avec les conditions actuelles.

### 4.4.2.1 Simulation avec un poste à quai sans vacance du serveur

Les résultats obtenus pour les différents processus en cas d’allocation d’un poste à quai pour le traitement (débarquement) des navires de bois seulement, nous avons obtenus pour chaque poste à quai les résultats suivants :

| Poste à quai | Nb-moy-navire-rade | Nb-moy-navire-sys | Séjour-navire(jour) | Nbr-moy-fardeaux-stock |
|--------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| $Q_8$        | 9.9929             | 11.3984           | 30.3098             | 875.1844               |
| $Q_{11}$     | 16.9453            | 17.7620           | 52.4927             | 767.4871               |
| $Q_{12}$     | 26.7752            | 27.6236           | 97.1848             | 625.7416               |
| $Q_{13}$     | 18.9293            | 19.1335           | 59.9790             | 734.1566               |
| $Q_{14}$     | 27.1709            | 28.0062           | 96.4741             | 639.2012               |
| $Q_{18}$     | 27.0584            | 27.8789           | 96.9096             | 633.3283               |
| $Q_{19}$     | 12.1778            | 12.9556           | 35.3473             | 843.3198               |

TABLE 4.8 – Les performances du terminal avec un poste à quai spécialisé

- La première colonne du tableau représente le quai alloué pour le traitement des navires de bois.
- La deuxième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire en rade sur une durée d'une année.
- La troisième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire dans le système sur une durée d'une année.
- La quatrième colonne du tableau représente le temps moyen de séjour d'un navire dans le système sur une durée d'une année.
- La cinquième colonne du tableau représente le nombre moyen de fardeaux dans la zone de stockage sur une durée d'une année.

### **Interprétation**

D'après le tableau (4.8), on constate que la simulation avec un seul poste à quai pour le service bois est beaucoup moins bénéfique, avec un nombre moyen d'attente dans la rade qui varie de 21 au 28 navires, et un séjour encore plus incroyablement, ce qui n'est pas la meilleure proposition pour l'entreprise.

4.4.2.2 Simulation avec deux postes à quai sans vacance du serveur

Les résultats obtenus pour les différents processus en cas d'allocation de deux poste à quai pour le traitement (débarquement) des navires de bois seulement, nous avons obtenus pour différents deux poste à quai les résultats suivants :

| Poste à quai | Nb-moy-navire-rad | Nb-moy-navire-sys | Séjour-navire(jour) | Nbr-moy-fardeaux-stock |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| $Q_{8/11}$   | 0.2487            | 1.5096            | 1.7912              | 2144.8                 |
| $Q_{8/12}$   | 0.4102            | 1.7077            | 2.0295              | 4759.0                 |
| $Q_{8/13}$   | 0.2791            | 1.5486            | 1.8213              | 4992.8                 |
| $Q_{8/14}$   | 0.4081            | 1.7082            | 1.9918              | 5022.8                 |
| $Q_{8/18}$   | 0.4060            | 1.7075            | 2.0099              | 4911.6                 |
| $Q_{8/19}$   | 0.2187            | 1.4617            | 1.7209              | 5125.0                 |
| $Q_{11/12}$  | 0.5810            | 1.9053            | 2.2397              | 4544.9                 |
| $Q_{11/13}$  | 0.4568            | 1.7419            | 2.0344              | 5129.3                 |
| $Q_{11/14}$  | 0.5599            | 1.8712            | 2.1932              | 4577.4                 |
| $Q_{11/18}$  | 0.5252            | 1.8385            | 2.1768              | 4384.8                 |
| $Q_{11/19}$  | 0.3423            | 1.6018            | 1.8806              | 4992.8                 |
| $Q_{12/13}$  | 0.7178            | 2.0432            | 2.3900              | 4704.6                 |
| $Q_{12/14}$  | 0.8807            | 2.2404            | 2.6487              | 3814.2                 |
| $Q_{12/18}$  | 0.9458            | 2.2856            | 2.6965              | 3877.3                 |
| $Q_{12/19}$  | 0.5456            | 1.8285            | 2.1685              | 4671.2                 |
| $Q_{13/14}$  | 0.5609            | 1.8650            | 2.2024              | 4323.3                 |
| $Q_{13/18}$  | 0.5742            | 1.8896            | 2.2379              | 4293.1                 |
| $Q_{13/19}$  | 0.3844            | 1.6415            | 1.9226              | 4956.3                 |
| $Q_{14/18}$  | 0.8792            | 2.2140            | 2.5980              | 4111.9                 |
| $Q_{14/19}$  | 0.5325            | 1.8179            | 2.1308              | 4889.2                 |
| $Q_{18/19}$  | 0.5095            | 1.7899            | 2.1209              | 4673.3                 |

TABLE 4.9 – Les performances du terminal avec deux postes à quai spécialisé

- La première colonne du tableau représente le quai alloué pour le traitement des navires de bois.
- La deuxième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire en rade sur une durée d'une année.
- La troisième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire dans le système sur une durée d'une année.
- La quatrième colonne du tableau représente le temps moyen de séjour d'un navire dans le système sur une durée d'une année.
- La cinquième colonne du tableau représente le nombre moyen de fardeaux dans la

zone de stockage sur une durée d'une année.

### Interprétation

Avec l'allocation de deux postes à quais pour le traitement du bois, le système deviendra plus performant. Le tableau précédent révèle des résultats encore plus importants avec les mesures de performances de chaque combinaison de deux différents postes à quais. En comparant ces résultats, on constate que l'allocation des deux postes à quais 8 et 19 est la plus performante avec un nombre moyen de navires en rade et dans le système respectivement 0.2487 et 1.5096, un séjour d'un navire de 1.7912 jour et un nombre de fardeaux dans le stock de 2144.8 fardeaux et ne dépasse pas la capacité du stock, soit encore une solution meilleure pour l'entreprise.

### 4.4.3 Variation du taux d'inter-arrivées

Les résultats obtenus en cas d'augmentation du taux des inter-arrivées de 0.4255 navire/jour à 0.5 navire/jour, sont :

| Nb-moy-navire-rade | Nb-moy-navire-sys | Séjour-navire(jour) | Nbr-moy-fard-stock | Nbr-moy-navire-traités(mois) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|
| 2.7529             | 4.4837            | 3.9811              | 7968.6             | 16.2500                      |

TABLE 4.10 – Les performances du terminal avec variation du taux d'inter-arrivées

- La première colonne du tableau représente le nombre moyen de navire en rade sur une durée d'une année.
- La deuxième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire dans le système sur une durée d'une année.
- La troisième colonne du tableau représente le temps moyen de séjour d'un navire dans le système sur une durée d'une année.
- La quatrième colonne du tableau représente le nombre moyen de fardeaux dans la zone de stockage sur une durée d'une année.
- La cinquième colonne du tableau représente le nombre moyen de navires traités sur une durée d'une année.

### Interprétation

Avec une augmentation de 14% du nombre de navires arrivant au port de Béjaïa, on constate une augmentation du nombre moyen de navires dans la rade jusqu'à 2.7529 navires et 4.4837 navires dans le système, avec un séjour de 3.9811 et une augmentation du nombre total de navires traités ou on passera de 15.2500 navires à 16.2500 navires, et un stock de 7968.6 fardeaux qui ne dépasse toujours pas la capacité de la zone de stockage.

#### 4.4.4 Variation du taux d'inter-arrivés avec les deux quais favorisés sans vacances

| Nb-moy-navire-rade | Nb-moy-navire-sys | Séjour-navire(jour) | Nbr-moy-fard-stock | Nbr-moy-navire-traités(mois) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|
| 0.570              | 1.8804            | 1.8837              | 10772              | 17.1300                      |

TABLE 4.11 – Les performances du terminal avec variation du taux d'inter-arrivées

- La première colonne du tableau représente le nombre moyen de navire en rade sur une durée d'une année.
- La deuxième colonne du tableau représente le nombre moyen de navire dans le système sur une durée d'une année.
- La troisième colonne du tableau représente le temps moyen de séjour d'un navire dans le système sur une durée d'une année.
- La quatrième colonne du tableau représente le nombre moyen de fardeaux dans la zone de stockage sur une durée d'une année.
- La cinquième colonne du tableau représente le nombre moyen de navires traités sur une durée d'une année.

#### Interprétation

Dans le cas d'augmentation du taux d'inter-arrivés avec les deux quais favorisés sans vacances, le nombre d'attente moyen en rade et dans le poste à quai augmentent à leurs tour par rapport au flux d'arrivées actuel sans vacances des deux serveurs (8 et 10), et aussi le nombre moyen de navires traités par mois et sans dépasser la capacité de la zone de stockage.

On peut remarquer en comparant ces résultats avec ceux de la simulation en variant le taux d'inter-arrivés avec les conditions actuelles, qu'avec une telle augmentation, mieux allouer les postes à quais 8 et 19 pour le traitement du bois (sans vacance du serveur) que le traiter avec tout autres poste à quais et avec vacance du serveur.

## Conclusion

La simulation nous a fourni des informations sur les performances actuelles du terminal à bois. Ceci nous ont permis de déterminer une politique optimale pour le service en terme d'optimisation du nombre moyen de séjour en rade dans le système et du nombre moyen de fardeaux dans le stock, Cette solution reste optimale même en cas d'augmentation du trafic.

# Conclusion Générale

L'entreprise portuaire de Béjaïa amorce son évolution vers les nouvelles générations des ports, C'est dans cette optique qu'elle a décidé la création d'un terminal à bois remplaçant le parc à bois jugé inefficace sur le plan quantitatif et surtout en terme de gain et de temps avec l'augmentation de la demande de cette marchandise qui engendre l'augmentation du trafic du bois.

Les objectifs de ce mémoire sont multiples, mais convergent vers un objectif global commun, soit d'analyser le fonctionnement du terminal à bois de l'EPB, afin d'évaluer ses performances et trouver un moyen pour le rendre encore plus performant et proposer une structuration meilleure pour le terminal, sachant que celui-ci ne dispose pas des postes à quai spécialisés pour le débarquement du bois.

Le modèle obtenu dans cette étude comporte un réseau de files d'attente complexe, comportant des files d'attente avec arrivées par groupes et des files d'attente avec vacance du serveur et non markoviennes. L'analyse statistique a montré que la loi des inter-arrivées suit bien une loi exponentielle. Les lois de service de chaque poste à quai traitant le bois ainsi que celle de la vacance de chaque serveur (loi de service d'autre navire) suivent à leurs tour la loi normale. Pour la taille de groupe d'arrivées, elle est ajusté par la loi Uniforme ainsi que celle de service livraison.

C'est sur cette base que nous avons programmé sous Matlab afin d'effectuer notre simulation et déterminer les mesures de performance du terminal à bois de l'EPB.

L'étude effectuée sur le modèle obtenu démontre que le stock moyen actuel ne dépasse pas la capacité de la zone de stockage du terminal. Un séjour moyen d'un navire qui peut atteindre 3.5 jours dans le système et un nombre moyen en attente qui dépasse un navire. Ces mesures qui accroissent avec une augmentation de 14% du taux d'inter-arrivées, arrive à un séjour moyen dans le système de 3.9811 jours et plus de 2.7 navires en attente en rade par unité de temps. Ceci nous a conduit à la recherche et la détermination d'une nouvelle politique plus performante avec l'approche simulation en faisant varier le nombre

de postes à quai à allouer pour le traitement du bois .

La simulation avec l'allocation d'un seul poste à quai pour le service bois nous a fourni des mesures de performances jugées inacceptables, avec une attente moyenne en rade remarquable, et un séjour dans le système trop élevés pour les navires de bois.

Avec l'allocation de deux postes à quai pour le traitement du bois, on constate une amélioration remarquable, et ceci pour les différentes combinaisons de deux postes à quai, tel que L'optimum est obtenu par les deux poste 8 et 19 avec un nombre de navires en attente qui ne dépasse pas 0.2187 navire et qui reste performant même en cas d'augmentation de trafic à 14

L'allocation de deux postes quai 8 et 19 spécialement pour le débarquement de la marchandise bois est une politique qui optimise et améliore les performances du terminal à bois de l'EBP avec le trafic actuel et même en cas d'augmentation sans aucune influence sur la zone de stockage du terminal.

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

- Proposer un modèle plus détaillé pour les processus, par exemple en prenant en considération les services des grues, et du transport des camions remorqueurs. . . ;
- La variation d'autres paramètres ;
- Etude de la rentabilité du terminal à bois ;
- Elargir cette étude pour d'autres types de marchandise ;
- Analyse des performances avec priorité des navires de bois aux différents postes à quai.
- Prévision des performances à long terme.
- Application des réseaux de Pétri pour l'évaluation des performances du terminal.

# Bibliographie

- [1] A. Aïssani and D. Aïssani, Réseaux de files d'attente. U.S.T.H.B. Alger, 1988.
- [2] D. Aïssani, M. Cherfaoui, S. Adjabi, S. Hocine and N. Zareb, Optimal management of equipments of the BMT Containers Terminal (Bejaia'Harbor). Part II : Rapid Modeling in Manufacturing and Logistics, in the Book "Rapid Modeling and Quick Response" : Intersection of Theory and Practice, Gerald Reiner Editor, Springer, ISBN : 978-1-84996-524-8, pp. 33-45. 2010.
- [3] D. Aïssani, S. Adjabi, M. Charfaoui, T. Benkhellat, and N. Medjkoune, Forecast of the traffic and performance evaluation of the BMT container terminal (Béjaia's Harbor). In the Book "First Rapid Modelling Conference Neuchatel, june 2009.
- [4] N. Ayache & R. Hidja, Evaluation des performances du terminal à conteneurs BMT (Bejaia Mediterranean Terminal), Mémoire d'ingéniorat en RO. Université A/Mira de Béjaïa, 2006/2007.
- [5] B. Baynat, Théorie des files d'attente. Hermes Science Publications, 2000.
- [6] T. Benkhellat & N. Medjkoune , Prévission du trafic et evaluation des performances du Terminal à conteneurs BMT, Mémoire d'ingéniorat en RO. Université A/Mira de Béjaïa, 2008.
- [7] D. De Werra, T.M. Liebling and J-F. Hech, Recherche operationnelle pour ingénieurs, tome 2, presses polytechniques et Universitaires Romandes, 2003.
- [8] B. T. Doshi, Queueing systems with vacation-A survey. Queueing Syst, Vol.1 :129-166, 1986.
- [9] B. T. Doshi, Single server queues with Vacations. In stochastic analysis of computer and communication systems, Amesterdam, Elsevier Science Edition,217-265, 1990.
- [10] B. T. Doshi. A note on stochastic decomposition in GI/G/1 queue with vacations or set-up times. J. of Appl. Prob, Vol. 22, 419-428,1985.
- [11] D. Gross and C.M.Harris, Fondamentals of queueing theory. Wiley Edition, 1974 - 556 pages.

- [12] S. Hocine and N. Zareb , Détermination du nombre optimal de camions remorqueurs au niveau du terminal à conteneurs BMT, mémoire d'ingénieur en RO. Université A/Mira de Béjaïa, 2009.
- [13] N. Kessi, Approximation dans les systèmes de files d'attente prioritaires, thèse de Doctorat en RO. Université A/Mira de Béjaïa, 2010.
- [14] A. Laouar and N. Saidani, Evaluation de Performances des réseaux IP à différenciation de services *cas des applications temps réel*, mémoire de fin d'étude d'ingénieur en RO. Université A/Mira de Béjaïa, 2007.
- [15] G. Pujolle and S. Fdida, *Modèle de Systèmes et de Réseaux*, Tome 2, Eyrolles, 1989.
- [16] F. Rahmoune, stabilité forte dans un système d'attente M/G/1//N avec vacance, Thèse de Magister. Université A/Mira de Béjaïa, Septembre, 2003.
- [17] T. Saaty, *Elements of queueing theory and application*. Mc Graw-Hill Book Company, N.Y,1961.
- [18] J. Sztrik, Finit-source queueing system and their applications. Institute of mathematics and informatics University of Debrecen, Hungary, August 7, 2001.
- [19] H. Takagi, Time-dependent analysis of M/G/1 vacation models with exhaustive service. *Queue. Syst*, 6 :369 389, 1990.
- [20] H. Takagi, Time-dependent process of M/G/1 vacation models with exhaustive service. *J. Appl. Prob*, 29 :418 429, 1992.
- [21] H. Takagi, Queueing analysis of vacation models. Technical report, TR 87-0043, IBM Tokyo, Jun 1988.
- [22] H. Takagi, Analysis of an M/[G/1//N queue with server's multiple vacations and exhaustive service, and its application to a polling model. Technical Report TR 0033, IBM Tokyo Research Laboratory, Tokyo, 1990a; .
- [23] T. H. Takine, H. Takagi, Y Takahashi, and T. Hasewaga, Analysis ok asymmetric single-buffer polling and priority systems. *Performance Evaluation*, 11 :253-264,1990.
- [24] A. Tedijanto, Stochastic comparaisons in vacations models. *Commun statisticstochastic models*, 7(1) :125-135,1991.
- [25] Modèle de mémoire de fin d'études destiné au futurs stagiaires de l'Entreprise Portuaire de Béjaïa.
- [26] [http ://www.portdebejaia.dz/](http://www.portdebejaia.dz/) . Année 2016.
- [27] Brochure de l'EPB. [http ://www.portdebejaia.dz/download/Brochure-EPB.pdf](http://www.portdebejaia.dz/download/Brochure-EPB.pdf).
- [28] Laboratoire de modélisation de l'optimisation des systèmes, Séminaire Spécialisé sur le Transport : enjeux et perspectives, Université A/Mira de Béjaïa, 2009.
- [29] [http ://www.elmoudjahid.com/fr/mobile/detail-article/id/51576](http://www.elmoudjahid.com/fr/mobile/detail-article/id/51576), 24-12-2013.
- [30] R. SAIT, N. ZERROUGUI, D. AISSANI, and S. ADJABI. Evaluations des performances du Terminal à conteneurs de l'EPB. Mémoire de fin d'étude, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa, 2004.

# Annexe

## Tests d'ajustement des lois des échantillons avec la table de Kolmogorov-Smirnov sous Matlab

- *Loi normale* :  $[n,j,k,l]=kstest(x,[x \text{ normcdf}(x,\text{mean}(x) ,\text{std}(x))])$
- *Loi exponentielle* :  $[n,j,k,l]=kstest(x,[x \text{ expcdf}(x,\text{mean}(x))$
- *Loi uniforme* :  $[n,j,k,l]=kstest(x,[x \text{ unifcdf}(x,\text{min}(x) ,\text{max}(x))])$

## Tests d'ajustement des lois des échantillons avec Kolmogorov-Smirnov sous R

- *Loi normale* :  $ks.test(x,"pnorm",\text{mean}(x),\text{sd}(x))$
- *Loi exponentielle* :  $ks.test(x,"pexp",1/\text{mean}(x))$
- *Loi uniforme* :  $ks.test(x,"punif",\text{min}(x),\text{max}(x))$

Table de Kolmogorov-Smirnov

| $n \setminus \alpha$ | 0.01       | 0.05       | 0.1        | 0.15       | 0.2        |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1                    | 0.995      | 0.975      | 0.950      | 0.925      | 0.900      |
| 2                    | 0.929      | 0.842      | 0.776      | 0.726      | 0.684      |
| 3                    | 0.828      | 0.708      | 0.642      | 0.597      | 0.565      |
| 4                    | 0.733      | 0.624      | 0.564      | 0.525      | 0.494      |
| 5                    | 0.669      | 0.565      | 0.510      | 0.474      | 0.446      |
| 6                    | 0.618      | 0.521      | 0.470      | 0.436      | 0.410      |
| 7                    | 0.577      | 0.486      | 0.438      | 0.405      | 0.381      |
| 8                    | 0.543      | 0.457      | 0.411      | 0.381      | 0.358      |
| 9                    | 0.514      | 0.432      | 0.388      | 0.360      | 0.339      |
| 10                   | 0.490      | 0.410      | 0.368      | 0.342      | 0.322      |
| 11                   | 0.468      | 0.391      | 0.352      | 0.326      | 0.307      |
| 12                   | 0.450      | 0.375      | 0.338      | 0.313      | 0.295      |
| 13                   | 0.433      | 0.361      | 0.325      | 0.302      | 0.284      |
| 14                   | 0.418      | 0.349      | 0.314      | 0.292      | 0.274      |
| 15                   | 0.404      | 0.338      | 0.304      | 0.283      | 0.266      |
| 16                   | 0.392      | 0.328      | 0.295      | 0.274      | 0.258      |
| 17                   | 0.381      | 0.318      | 0.286      | 0.266      | 0.250      |
| 18                   | 0.371      | 0.309      | 0.278      | 0.259      | 0.244      |
| 19                   | 0.363      | 0.301      | 0.272      | 0.252      | 0.237      |
| 20                   | 0.356      | 0.294      | 0.264      | 0.246      | 0.231      |
| 25                   | 0.320      | 0.270      | 0.240      | 0.220      | 0.210      |
| 30                   | 0.290      | 0.240      | 0.220      | 0.200      | 0.190      |
| 35                   | 0.270      | 0.230      | 0.210      | 0.190      | 0.180      |
| 40                   | 0.250      | 0.210      | 0.190      | 0.180      | 0.170      |
| 45                   | 0.240      | 0.200      | 0.180      | 0.170      | 0.160      |
| 50                   | 0.230      | 0.190      | 0.170      | 0.160      | 0.150      |
| OVER 50              | 1.63       | 1.36       | 1.22       | 1.14       | 1.07       |
|                      | $\sqrt{n}$ | $\sqrt{n}$ | $\sqrt{n}$ | $\sqrt{n}$ | $\sqrt{n}$ |

FIGURE 4.5 – Table de Kolmogorov-Smirnov

## Les graphes d'ajustement

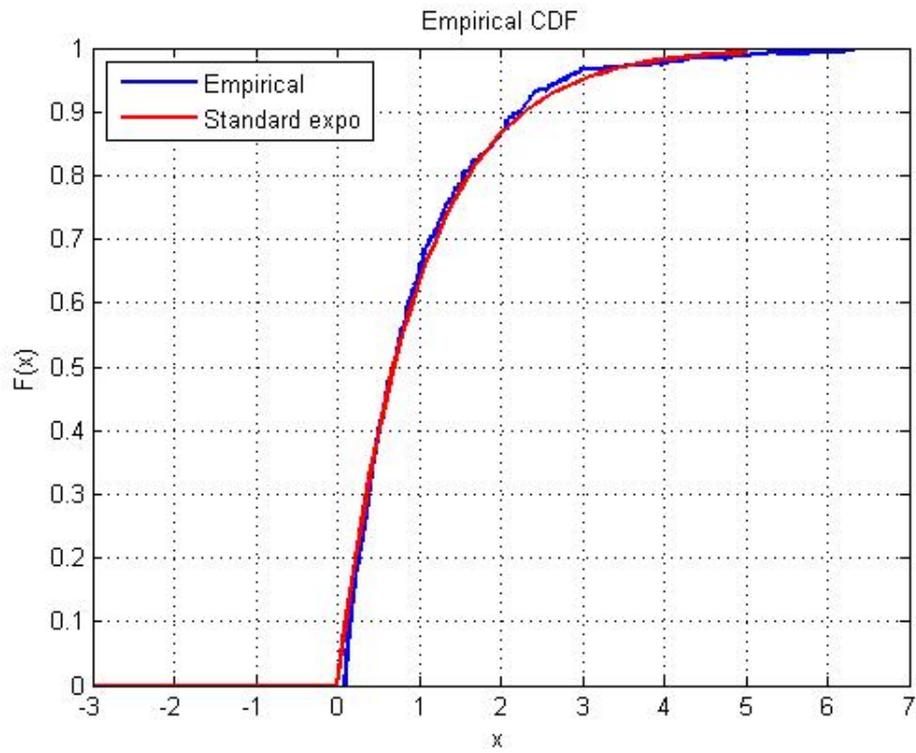


FIGURE 4.6 – Ajustement de la loi des inter-arrivées

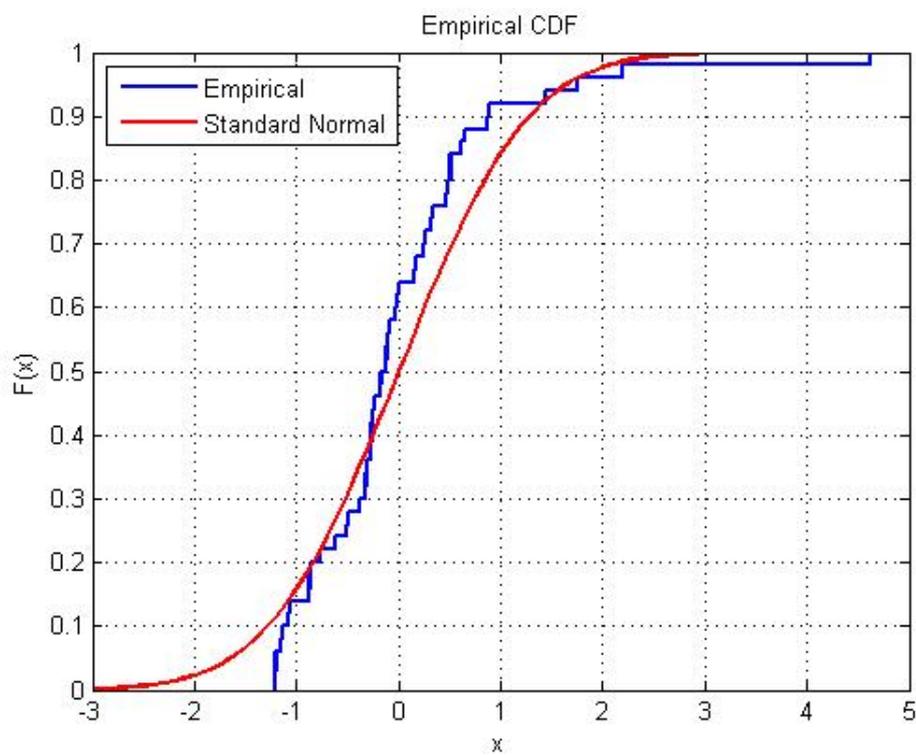


FIGURE 4.7 – Ajustement de la loi de service poste 8

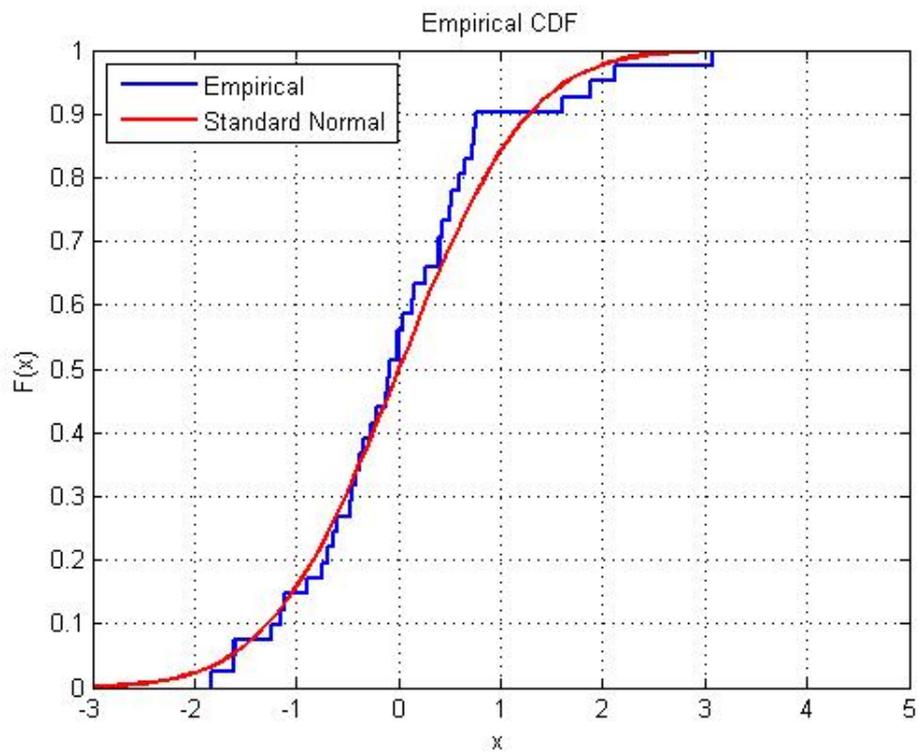


FIGURE 4.8 – Ajustement de la loi de service poste 11

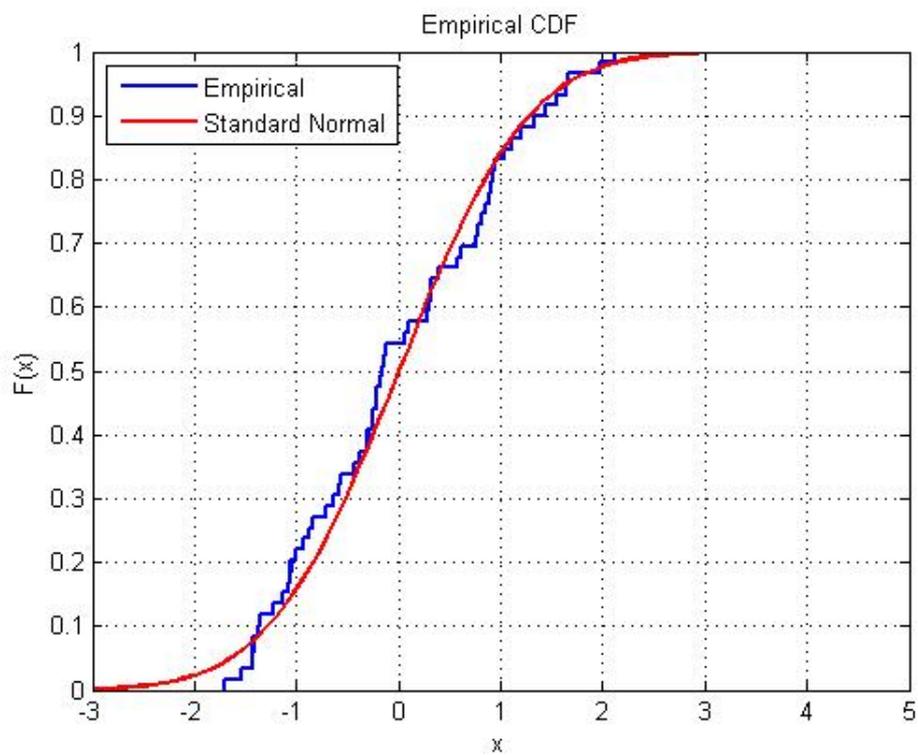


FIGURE 4.9 – Ajustement de la loi de service poste 12

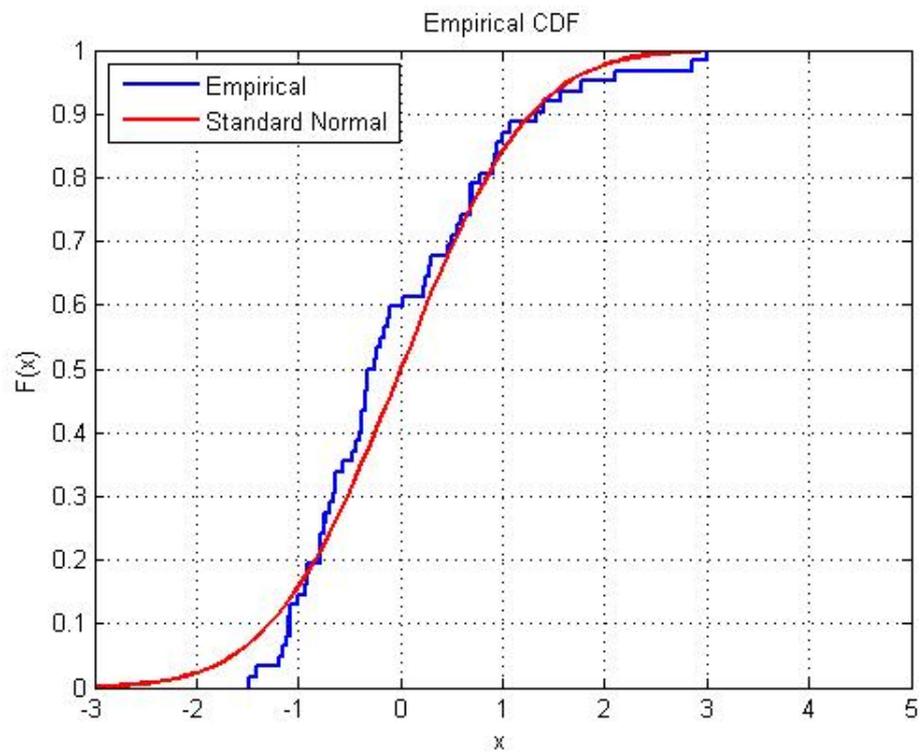


FIGURE 4.10 – Ajustement de la loi de service poste 13

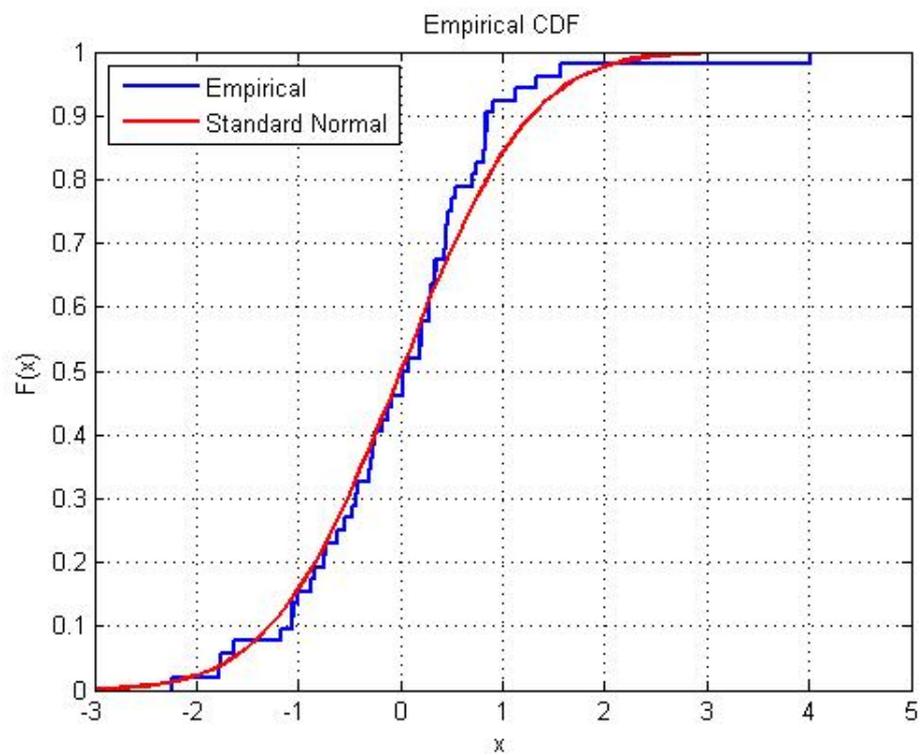


FIGURE 4.11 – Ajustement de la loi de service poste 14

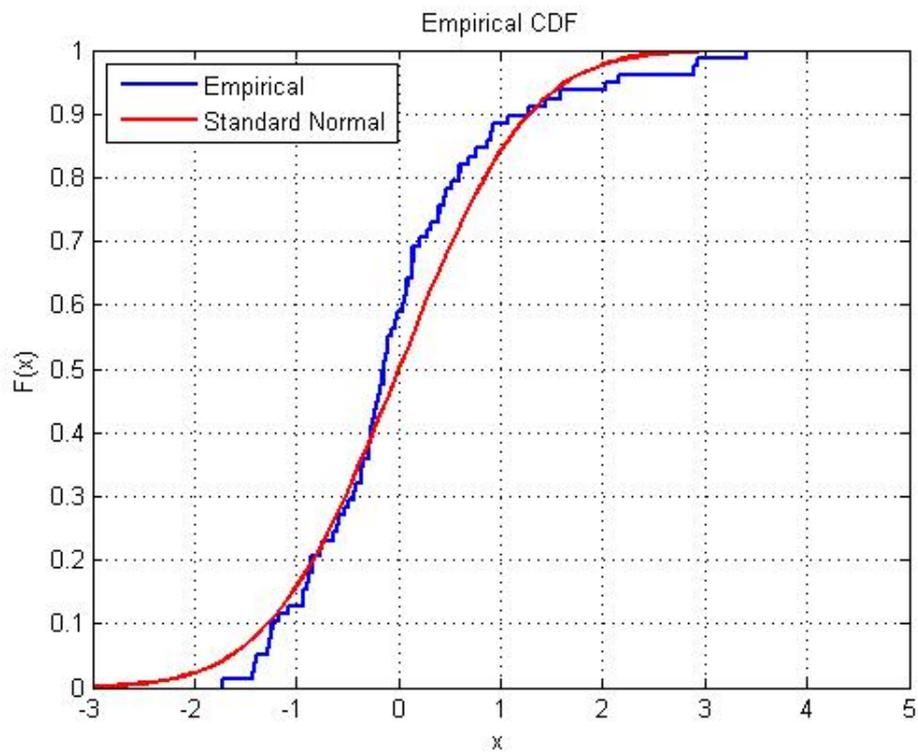


FIGURE 4.12 – Ajustement de la loi de service poste 18

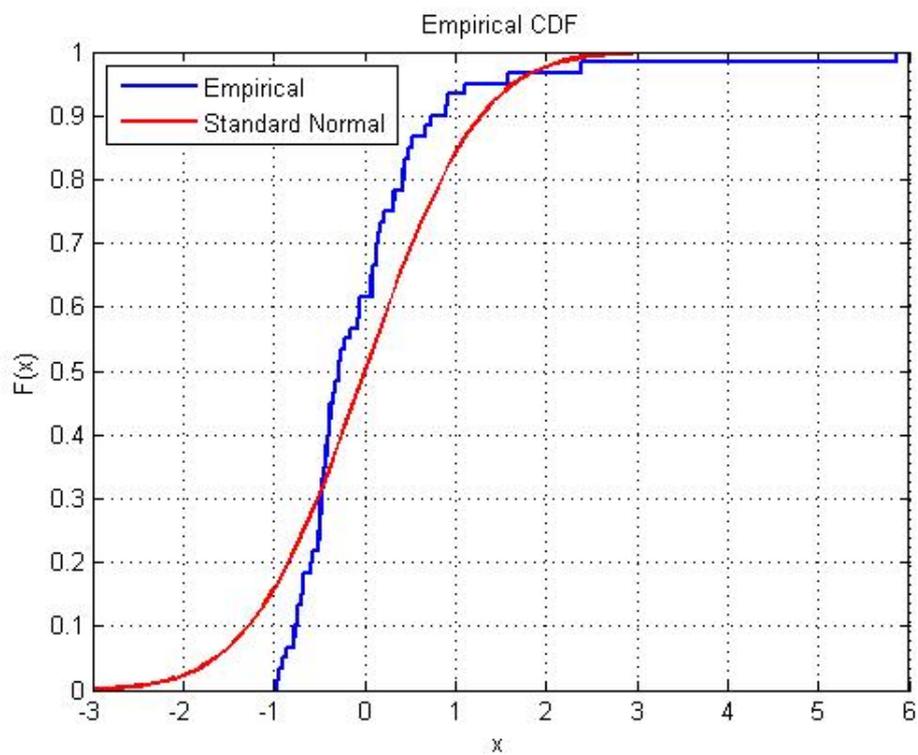


FIGURE 4.13 – Ajustement de la loi de service poste 19

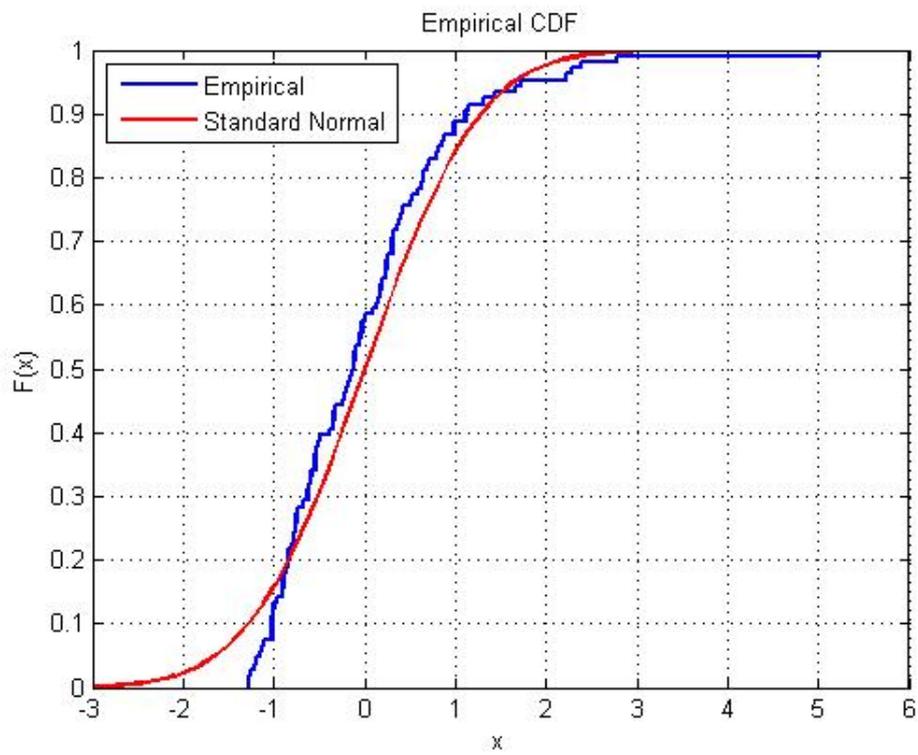


FIGURE 4.14 – Ajustement de la loi de vacance poste 8

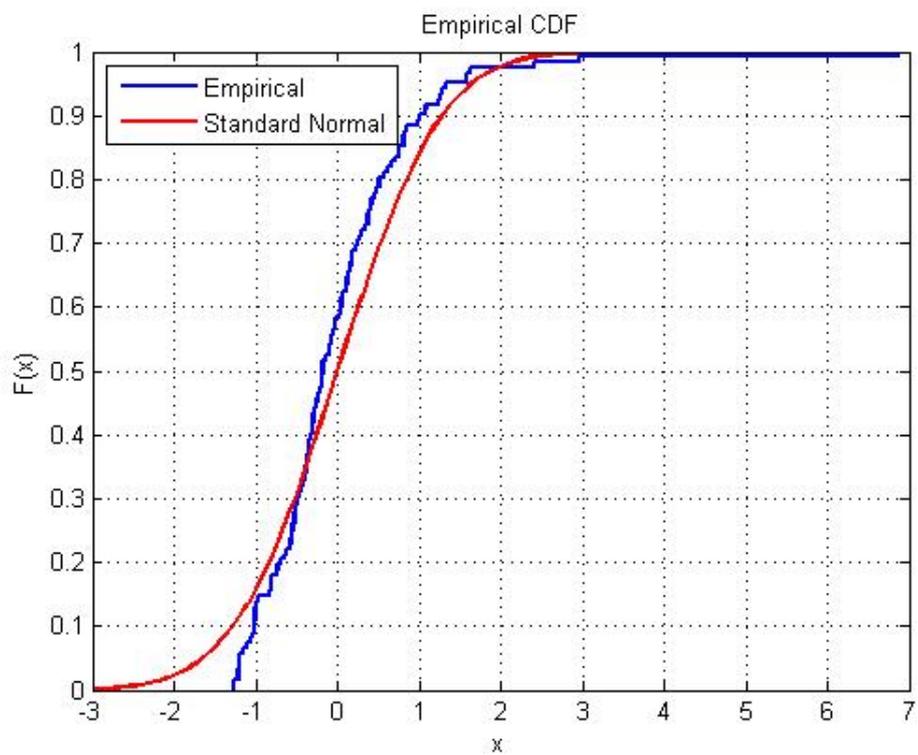


FIGURE 4.15 – Ajustement de la loi de vacance poste 11

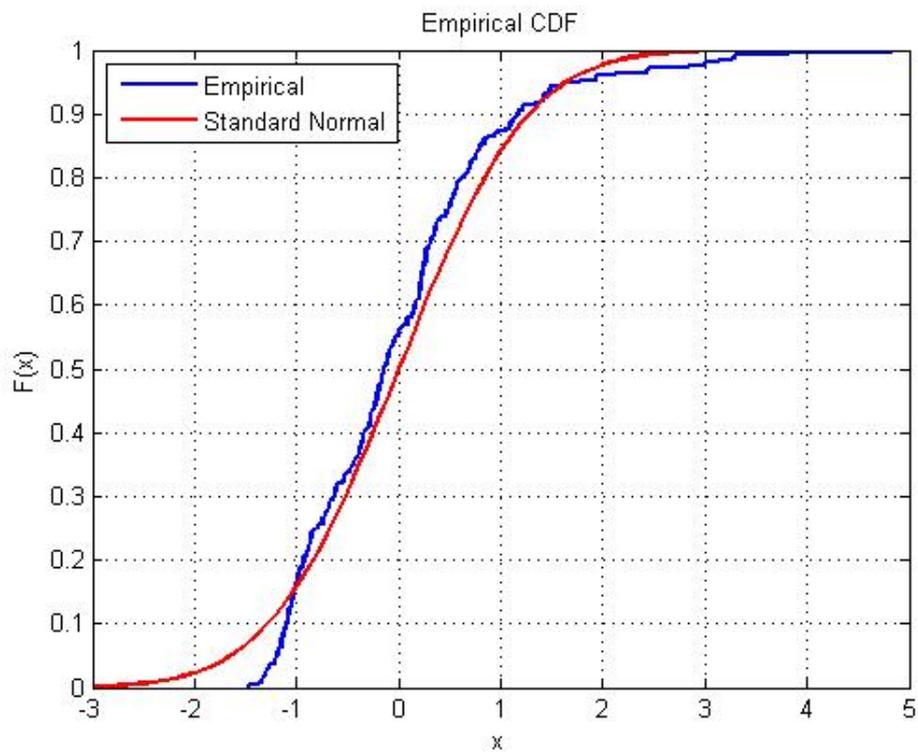


FIGURE 4.16 – Ajustement de la loi de vacance poste 12

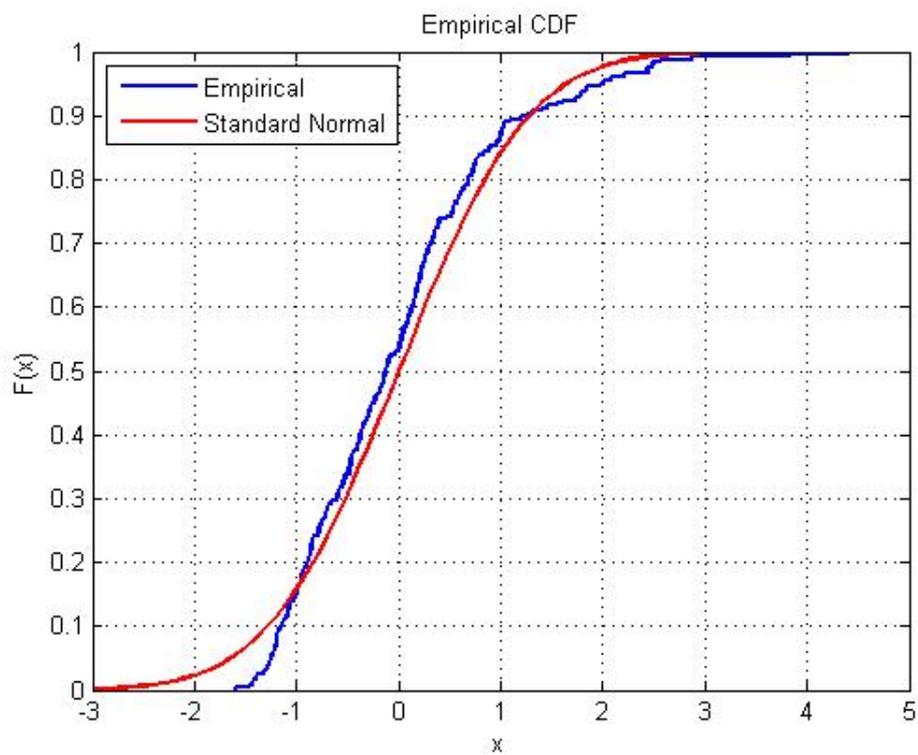


FIGURE 4.17 – Ajustement de la loi de vacance poste 13

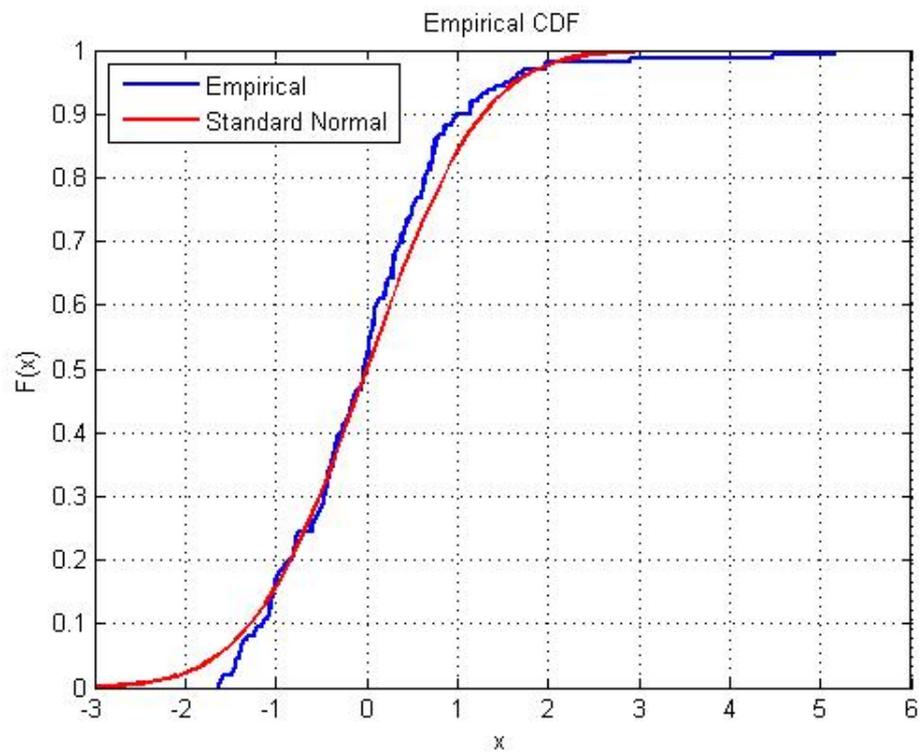


FIGURE 4.18 – Ajustement de la loi de vacance poste 14

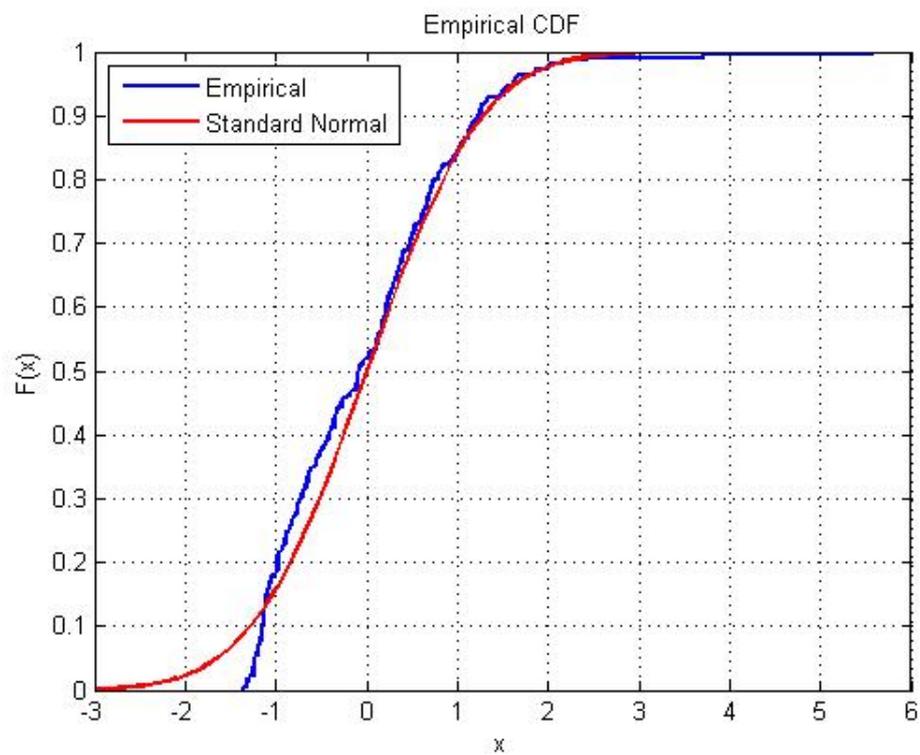


FIGURE 4.19 – Ajustement de la loi de vacance poste 18

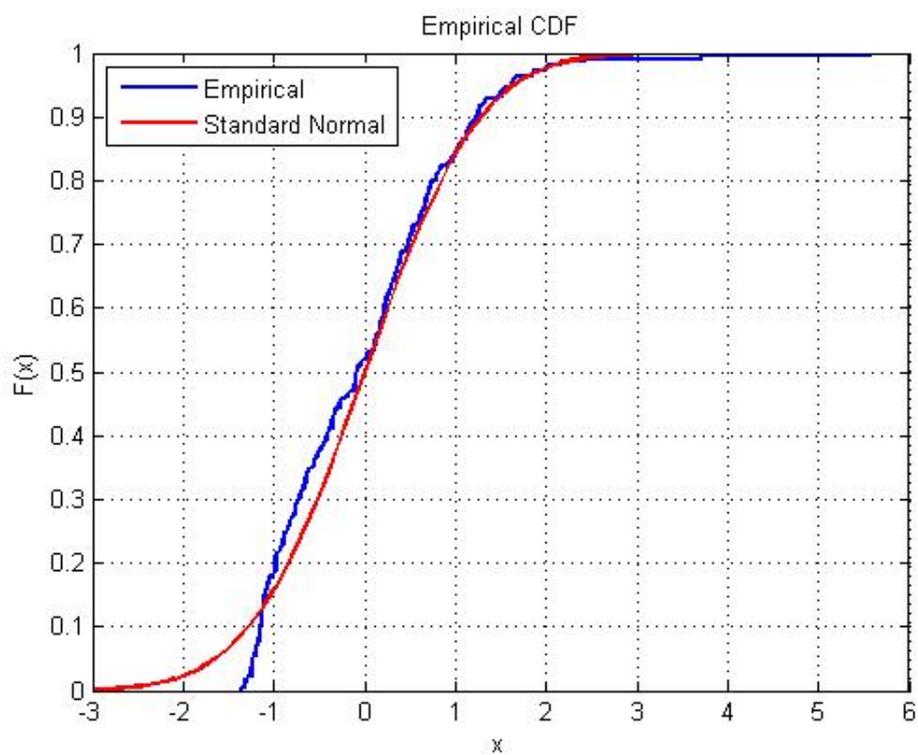


FIGURE 4.20 – Ajustement de la loi de vacance poste 19

## Résumé

---

”Les performances d’un terminal se mesurent par le temps d’èscale, la rapidité des opérations, la qualité des services et le coût du transit d’une marchandise”.

Notre travail consiste à évaluer les performance du terminal à bois de l’EPB en fonction du nombre de postes à quai exploités par le processus de débarquement du bois. Il s’agit de déterminer le nombre optimal de postes à quai à allouer pour débarquement des navires de bois, en minimisant la durée d’attente et de séjour des navires. À cet effet, nous avons élaboré un modèle mathématique pour le processus sous forme d’un réseau de files d’attente. Nous avons effectué une analyse statistique sur les données obtenus. Un programme de simulation nous a fourni les mesures de performance du terminal.

La simulation nous a permis d’évaluer, à base des conditions actuelles du terminal, ainsi que pour le cas d’augmentation du flux des arrivées des navires, les performances du terminal, ceci nous a encore permis la détermination du nombre optimal de postes à quai à allouer pour le processus du débarquement du bois.

---

**Mots clés** : *Evaluation des Performances, réseaux de Files d’Attente, Modélisation, Simulation, Terminal à Bois.*

---

## Abstract

---

”The performance of a terminal is measured by the time the ships stay on berth, speed of operations, the quality of services is the cost of transit of goods”.

Our job is to assess the performance of the timber terminal of the EPB according to the number of berths operated by the process of unpenning wood. This is to determine the optimum number of berths to be awarded for landing of wooden ships, minimizing waiting time and residence navires. At this effect, we have developed a mathematical model for the process form a queuing system. We have performed a statistical analysis on the data obtained. A simulation program has provided us with the terminal performance measures.

The simulation allowed us to assess, based on current conditions of the terminal and for the case of increasing the flow of arrivals of ships, terminal performance, which further allowed us to determine the optimal number of berths to allow for the process of landing timber.

---

**Key words** : *Performance Evaluation, Queueing System, modelization, Simulation, Timber Terminal.*