

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 DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE



Mémoire de fin de cycle

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

Thème

*Modélisation et Evaluation des Performances du mouvement de la navigation
Cas Entreprise Portuaire de Bejaia (E.P.B)*



Réalisé par :

✓ Lefkir Imene

✓ Aldji Aissam

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mme LEKADIR Ouiza	M.C.A.	Université de Bejaia
Promoteurs :	Mr AISSANI Djamil	Professeur.	Université de Bejaia
	Mr Hammadi Hakim	Chef de service	Port de Bejaia
Co/Promotrice :	Mme HAKMI Sedda	M.A.A.	Université de Bejaia
Examineurs :	Mme ADEL Karima	M.C.A	Université de Bejaia
	Mr ATMANI Mouloud	M.C.B.	Université de Bejaia

2017/2018

Résumé

Le port de Bejaia mène un projet de modernisation et de développement pour s'engager dans une démarche d'optimisation de tous les domaines dont l'objectif est de diminuer les coûts et ainsi augmenter la marge des gains de l'entreprise. Face à ce contexte, le temps passé au port par les navires est tenu à améliorer continuellement les performances de l'entreprise pour rester compétitifs.

Dans ce mémoire, nous avons modélisé et analysé les performances du mouvement des navires au niveau du port de Bejaia via les réseaux de Petri. En effet, nous avons proposé, en premier lieu, une modélisation détaillée de ce système en utilisant les réseaux de Petri. Cet outil nous a permis d'obtenir une analyse détaillée et sémantiquement précise des mouvements des navires. En second lieu, nous avons calculé les indices de performances qui nous ont permis de voir l'influence de l'augmentation du taux des inter-arrivées ainsi que l'impact du poste 25 sur les performances du système.

Mots-clés : Réseaux de Petri, Mouvement des navires, Modélisation, Evaluation des performances.

Abstract

The port of Bejaia is carrying out a modernization and development to engage in an optimization approach of all areas whose objective is to diminish costs and increase the profit margin of the company. Face to this context, in the time spent by ships in port is required to improve continuously the company's performance to stay competitive.

In this work, we modeled and analyzed the performance of ships movement at the port level of Bejaia with Petri Network. In fact, we proposed, in the first place, a detailed and semantic modeling of this system using Petri Network. This tool allowed us to get a detailed analysis and semantic precise of ships movements. In the second place, we calculated performance indices which allowed us to see the influence of the increase in the rate of inter-arrival as well as the impact of the post 25 on the performances of the system.

Keywords : Petri Network, Ship's movements, Modelisation, Evaluation of performances.

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la santé, le courage et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements les plus sincères et les plus profonds au Professeur D. Aïssani d'avoir accepté de diriger ce modeste travail avec une grande patience ainsi que beaucoup de soin et de minutie. Nous le remercions encore pour le temps qu'il nous a consacré en vue de nous orienter durant la réalisation de notre travail.

Nos vifs remerciements à Mme S.Hakmi notre Co-promotrice, pour sa qualité d'encadrement, sa disponibilité, son soutien et ses orientations durant la réalisation de cette étude.

Nos vifs remerciements sont également adressés à Mr H.Hammadi chef du service aide à la navigation au sein de l'E.P.B, pour son accueil chaleureux, son écoute et ses conseils pertinents ainsi pour toute l'aide qu'il nous a prodigué.

Nos remerciements chaleureux et anticipés vont aux membres de jury : la présidente Mme O. LEKADIR ainsi qu'aux examinateurs Mme K. ADEL, Mr M. ATMANI qui ont consacré une partie de leurs temps pour examiner et juger notre travail.

Nos remerciements à Mr S. ZIANI notre enseignant pour sa qualité d'enseignement, son aide, des précieux conseils et surtout ces motivations. Nous le remercions d'avoir cru en nous...

Nous tenons tout simplement à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin durant tout notre cursus et espérons que ce mémoire servira de guide pour les promotions à venir.

A. Issam et L. Imene

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents pour leurs amour et leurs aides ;

Mes frères et sœurs , Specially to (Hannan) ;

Toute ma famille ;

Ma chère Nouzha ;

Tous mes ami(e)s ;

Ma binôme Imène ;

Tous ceux qui aiment Issam ;

Issam

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

Mon regretté père ;

*La personne la plus chère, celle que j'admire et j'aime le plus au monde,
ma raison de vivre, mon exemple, ma mère ;*

Mes chers frères : Islem et Ihab ;

Ma confidente Sabrina ;

Toute ma famille ;

Tous mes amis ;

Mon binome Issam ;

Specially to "Virus" ;

Tous ceux qui veulent réussir et combattent pour le faire.

Imène

TABLE DES MATIÈRES

Introduction Générale	1
1 Présentation de l'entreprise portuaire de Bejaia	4
1.1 Historique	4
1.2 Situation géographique	4
1.3 Les bassins du port	4
1.3.1 Bassin de l'avant port	5
1.3.2 Bassin du vieux port	5
1.3.3 Bassin de l'arrière port	5
1.4 Organisation de l'E.P.B	5
1.4.1 Les directions opérationnelles	6
1.4.2 Les directions fonctionnelles	9
1.5 Missions et Activités de l'EPB	11
1.5.1 Missions :	11
1.5.2 Activités :	12
1.6 Quais et caractéristiques	12
1.7 Parcours d'un navire arrivant au port de Bejaia	13
1.7.1 Étape de mouillage	13
1.7.2 Étape de service	13
1.7.3 Les mouvements d'un navire	15
1.8 Position du problème	16
1.9 Conclusion	17

2	Notions de base sur les files d'attentes et les réseaux de Petri	18
2.1	Introduction	18
2.2	Rôle et importance des indicateurs de performance	18
2.3	Les systèmes de files d'attente	20
2.3.1	Identification et classification des systèmes d'attente	20
2.3.2	Discipline de service d'une file d'attente	21
2.3.3	Notation de Kendall	21
2.3.4	Mesure de performance	22
2.3.5	Formule de Little	23
2.3.6	Modèles markoviens	23
2.3.7	Modèles non markoviens	25
2.3.8	Les réseaux de files d'attente	25
2.4	Les Réseaux de Petri	27
2.4.1	Représentation mathématique d'un réseau de Petri	27
2.4.2	Représentation matricielle	28
2.4.3	Dynamique des Réseaux de Petri ordinaires	29
2.4.4	Le marquage dans un RdP :	29
2.4.5	RdP à arcs inhibiteurs	30
2.4.6	Structures de contrôle	30
2.4.7	Les propriétés structurelles et les propriétés comportementales	31
2.5	Les différentes extensions des RdP	33
2.6	Conclusion	34
3	Etudes réalisées sur le mouvement des navires au sein de l'EPB	35
3.1	Introduction	35
3.2	Etude réalisée en 1998	36
3.2.1	Description des arrivées	36
3.2.2	Discipline de service	36
3.2.3	Statistiques	38
3.2.4	Schéma du modèle 1998	39
3.3	Etude réalisée en 2012	40
3.3.1	Modélisation analytique du mouvements des navires	40
3.3.2	Description des arrivées	40

3.3.3	Discipline de service	43
3.3.4	L'étude statistique	44
3.3.5	Schéma du modèle établi 2012	49
3.4	Pourquoi une nouvelle étude?	49
3.5	Conclusion	50
4	Modélisation du mouvement des navires au niveau de l'EPB	51
4.1	Modélisation et évaluation des performances du mouvement des navires au niveau de l'EPB	51
4.1.1	Description des arrivées	51
4.1.2	Identification du flot des arrivées	55
4.2	Description des services	56
4.2.1	Types de services	56
4.2.2	Discipline de service	56
4.2.3	Identification des lois de service	59
4.3	La modélisation du mouvement de la navigation via les réseaux de Petri (RdP)	61
4.3.1	La modélisation du parcours d'un navire avec réseaux de Petri.	62
4.4	Simulation des performances du système	73
4.4.1	Résultats de la simulation et calcul de performances :	73
4.4.2	Simulation des performances du système dans le cas de variation des paramètres	76
4.5	Conclusion :	80
	Conclusion Générale	81
	Annexe1	83
	Annexe2	85
	Annexe3	95

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Quais et caractéristiques du port de Bejaia.	13
1.2	Affectation des remorqueurs par type de navire [16].	13
3.1	Ajustement des arrivées et lois des durées de service.	38
3.2	Fréquence des arrivées par classe.	40
3.3	Lois des inter-arrivées	45
3.4	Lois des durées de service des Car-ferries.	45
3.5	Lois des durées de service des Pétroliers.	45
3.6	Lois des durées de service de navires Carburants.	45
3.7	Lois des durées de service des Gaziers.	45
3.8	Lois des durées de service des Bitumiers.	46
3.9	Lois des durées de service des Huiliers.	46
3.10	Lois des durées de service des Portes-conteneurs	46
3.11	Lois des durées de service des navires Céréaliers.	46
3.12	Lois des durées de service des RORO.	47
3.13	Lois des durées de service des Cargo.	47
4.1	Fréquence des arrivées par classe.	52
4.2	Les lois des arrivées.	55
4.3	Ajustement des lois de durée de service.	60
4.4	Le temps moyen de séjour par type de navire.	73
4.5	Le temps moyen de service par poste.	74
4.6	Evaluation des performances du système par RdP.	74
4.7	Taux d'utilisations des postes à quai.	75

4.8	Evaluation des performances par RdP avec une augmentation du taux des inter-arrivées de 10%.	76
4.9	Taux d'utilisation des postes à quai par RdP avec une augmentation du taux des inter-arrivées de 10%.	76
4.10	Evaluation des performances du système par les RdP en ajoutant le poste 25.	78
4.11	Taux d'utilisation des postes à quai en ajoutant le poste 25.	78

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ces dernières années, le rôle des ports maritimes a pris une importance de plus en plus grande. Des ports modernes et efficaces sont nécessaires pour faciliter le commerce et le développement, surtout à une époque caractérisée par la mondialisation des échanges. En outre, les ports ont pour rôle d'offrir des services sûrs et efficaces aux transporteurs et aux chargeurs, y compris dans le domaine de la documentation et des formalités douanières, afin de permettre le bon fonctionnement de la chaîne de transport maritime[23].

Le port de Bejaia est l'un des ports importants en Algérie. Cependant, les limites des aires de manutention et de stockage posent déjà de réels problèmes de gestion. L'activité au port de Bejaia enregistre en moyenne une croissance annuelle estimée à 10%. Cette performance quoique positive, engendre des situations d'encombrement et de congestion de plus en plus fortes dues essentiellement à l'exiguïté de son espace (c'est-à-dire que l'on ne peut aller au delà de la surface). L'analyse des facteurs influence sur l'attente des marchandises et des navires est donc plus que nécessaire si l'on veut que les actions entreprises ou celles à entreprendre conduisent effectivement à une réduction du coût de passage par le port.

Quelles sont les facteurs qui déterminent l'encombrement portuaire et comment peut-on mesurer ce dernier ?

De nombreuses études ont été réalisées par des étudiants de notre département sur des problèmes liés au transport et à ses supports. En fait, deux études nous ont inspirées, celle de 1998 et 2012. Leur objectif était d'analyser les mouvements de la navigation au niveau de l'entreprise portuaire de Bejaia, afin d'évaluer la capacité de ce port pour faire face à l'augmentation du trafic à court et à moyen termes. Un traitement statistique des données avait permis de déterminer la loi des flots des arrivées au Port et celle du service dans chaque quai. Deux modèles de simulation du fonctionnement du port avaient été élaborés. Leurs objectifs étaient de reproduire les conditions

du fonctionnement des mouvements de la navigation afin de déterminer le temps de séjour en rade, à quai et dans le système. Le choix s'est porté principalement sur ces critères car ils jouent un rôle important dans l'établissement des coûts des opérations portuaires.

Depuis 2012, le port de Bejaia a subi d'importants changements dans ces infrastructures ;

- La création de trois nouvelles directions (la direction remorquage DR, la direction systèmes d'information et la direction zones logistiques extra-portuaire) ;
- la réhabilitation des postes à quai n°17, 18, 19, 21 et 22 ;
- La libération de plus de 20 000 m^2 de terre-pleins au niveau des postes 6,7 et 8
- Réalisation du poste 25 ;
- Aménagement d'un poste d'accostage RO/RO spécialisé pour car-ferries ;
- Réalisation d'une gare maritime ;
- Réalisation de la nouvelle clôture du port ;
- Réhabilitation des postes 1, 2 et 3 du port pétrolier,...

Tous ces facteurs ont fait que le système portuaire n'est plus le même.

Peut-on mesurer l'effet des investissements sur le fonctionnement du port de Bejaia ?

Devant cette situation, nous avons opté pour une nouvelle étude qui consiste à faire une nouvelle évaluation des performances du port de Bejaia à travers une nouvelle modélisation du système en tenant compte de tous ces changements effectués et ceux qui sont en cours d'achèvement (poste 25). Une analyse statistique a été réalisée à partir des données communiquées par le département informatique de l'entreprise. Pour cela, nous avons fait appel aux réseaux de Petri (RdP) où le module Petri Net V12 du logiciel GRIF a été mis à profit.

Ce mémoire est composé :

- D'une introduction générale où l'idée générale du sujet à traiter est exposée ;
- De quatre chapitres où le vif du sujet est traité ;
 - Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB). Nous y apporterons des précisions sur le parcours d'un navire de la rade en passant par les postes à quai jusqu'à sa sortie ;
 - Dans le deuxième chapitre nous exposons quelques notions fondamentales des méthodes d'évaluation des performances, les systèmes de files d'attente markoviennes, non marko-

viennes et les réseaux de Petri ;

- Le troisième chapitre contient une présentation de la modélisation et des résultats des deux études 1998 et 2012 ;
 - Le quatrième chapitre comporte une présentation du modèle actuel retenu du parcours d'un navire au port de Bejaia, ainsi que l'étude statistique et l'évaluation des performances du modèle retenu via les Réseaux de Petri.
- Et on termine avec une conclusion.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE PORTUAIRE DE BEJAIA

1.1 Historique

L'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB) est née le 14 Août 1982 suite à la restriction de l'Office National des Ports (ONAP), de la Société Nationale de Manutention (SONAMA) et de la Compagnie Nationale Algérienne de Navigation (CNAN). Le 15 Février 1989, elle devient une entreprise publique autonome, son capital social fut fixé à dix millions (10.000.000) de dinars algériens par décision du conseil de la planification n° 191/SP/DP du 09 Novembre 1988. Actuellement, le capital social de l'entreprise a été ramené à 3.500.000.000 Da [7].

1.2 Situation géographique

Le port de Bejaia se situe à une latitude nord de $36^{\circ}45'24''$ et une longitude de $5^{\circ}05'5''$. Il dispose de sites de mouillage avec des profondeurs variant de 10 m à plus de 20 m. La passe d'accès au port est formée par les deux musoirs de la jetée Est et de la jetée Sud. Cette situation géographique offre des commodités exceptionnelles dues à des liaisons étroites et sûres avec les autres modes de transport [20].

1.3 Les bassins du port

Le port de Bejaia est formé de trois bassins :

1.3.1 Bassin de l'avant port

Sa superficie est de 75 hectares, ses profondeurs varient entre 10.5 m et 13.5 m, disposant d'installations spécialisées. L'avant port est destiné à traiter les navires pétroliers.

1.3.2 Bassin du vieux port

Sa superficie est de 26 hectares, ses profondeurs varient entre 6 m et 8 m.

1.3.3 Bassin de l'arrière port

Sa superficie est de 60 hectares, ses profondeurs varient entre 10,5 m et 12 m.

La figure 1.1 montre le plan de développement du port de Bejaia.

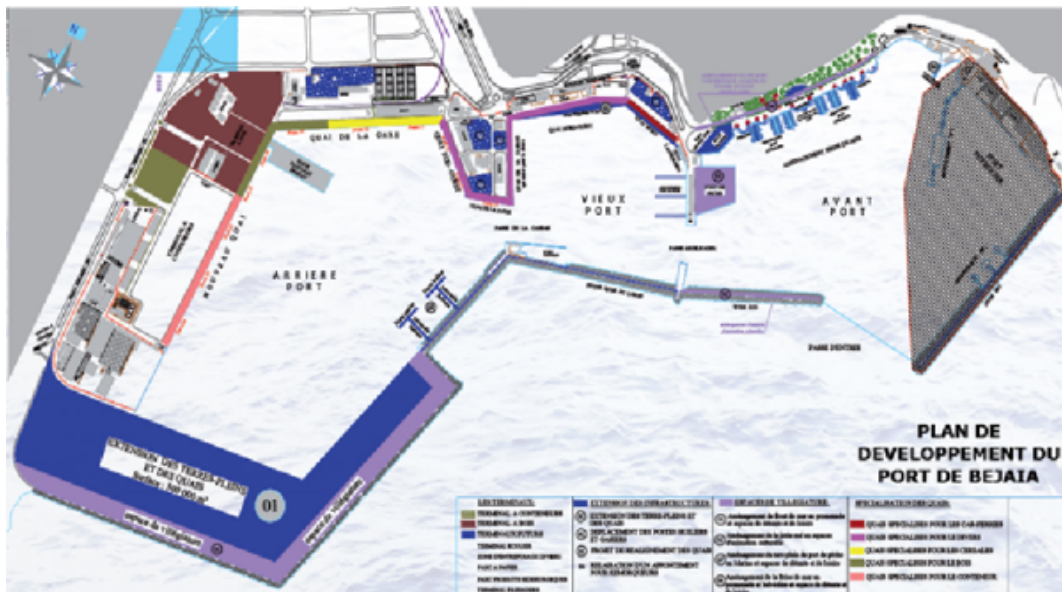


FIGURE 1.1 – Plan de développement du port de Bejaia.

1.4 Organisation de l'E.P.B

L'entreprise portuaire de Bejaia est structurée en 11 directions, elles même subdivisées en départements. L'activité de l'entreprise est organisée suivant un schéma de décentralisation des pouvoirs très poussée au profit des directeurs centraux et de leurs chefs de départements. On voit donc que cette structure composée de 05 directions fonctionnelles et 06 directions opérationnelles, l'organisation de l'EPB ne cesse d'être actualisée pour répondre aux exigences d'une évolution

permanente. Pour cela, nous précisons que les directions DZLE, remorquage et systèmes d'information sont de création récente relativement à la stratégie de cette entreprise. Entrons dans les détails. L'EPB est organisée selon les directions fonctionnelles et opérationnelles suivantes :

1.4.1 Les directions opérationnelles

Il s'agit des structures qui prennent en charge les activités sur le terrain et qui ont une relation directe avec les clients.

1.4.1.1 Direction Manutention et Acconage (DMA)

Elle est chargée de prévoir, organiser, coordonner et contrôler l'ensemble des actions de manutention et d'acconage liées à l'exploitation du port. Elle abrite les départements suivants :

– **Manutention :**

Qui comprend les opérations d'embarquement, d'arrimage, de désarrimage et de débarquement de marchandises, ainsi que les opérations de mise et de reprise des marchandises sous hangar, sur terre-plein et magasins. La manutention est assurée par un personnel formé dans le domaine. Elle est opérationnelle de jour comme de nuit, répartie en deux shifts (période de travail d'une équipe) de 6h à 19h avec un troisième shift opérationnel qui s'étale entre 19h et 01h du matin. Pour cas exceptionnel, ce dernier peut s'étaler jusqu'à 7h du matin.

– **Acconage :**

A pour tâches :

a) Les marchandises :

- La réception des marchandises ;
- Le transfert vers les aires d'entreposage des marchandises ;
- Marquage des lots de marchandises ;
- Livraison de marchandises aux clients.

b) Le service :

- Rassembler toutes les informations relatives à l'évaluation du traitement des navires à quai et l'estimation de leurs temps de sortie ainsi que la disponibilité des terre-pleins, et hangars pour le stockage.
- Participer lors de la Conférence de Placement des Navires (CPN) aux décisions d'entrée des navires et recueillir les commandes des clients (équipes et engins) pour le traitement de leurs navires.

1.4.1.2 Direction Logistique (DL)

Elle a pour tâches :

- La gestion du parc engins ;
- La maintenance des engins de manutention ;
- L'approvisionnement en pièces de rechanges lié à la gestion technique du port.

1.4.1.3 Direction Domaine et Développement (DDD)

Elle a pour tâches :

- La gestion du domaine (terre-pleins, hangars, bureaux, immeubles, installations et terrains) à usage industriel ou commercial ;
- L'enlèvement des déchets des navires et assainissement des postes à quai ;
- Le pesage des marchandises (pont bascule) ;
- L'avitaillement des navires en eau potable ;
- Le suivi et la mise en oeuvre des investissements ;
- L'entretien et le développement du domaine portuaire ;
- L'approvisionnement en PDR de la flotte navale de la capitainerie et du parc à engins de la DDD (camions et engins).

1.4.1.4 Direction Capitainerie (DC)

Elle exerce des missions et attributions qui relèvent des prérogatives de puissance publique dévolues à l'entreprise conformément aux statuts qui la régissent (police et sécurité portuaire maritime et terrestre, coordination de la lutte anti-incendie et antipollution). Elle est subdivisée en deux départements : département police et sécurité et département aide à la navigation et sécurité. Elle assure également les fonctions suivantes :

a) Pilotage :

La mise en disposition d'un pilote pour assister ou guider le commandant du navire dans les manoeuvres d'entrée, de sortie. Cette activité s'accompagne généralement de pilotins, de canots et de remorqueurs.

b) 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.

c) Accostage :

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

1.4.1.5 Direction remorquage

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 remorqueur portuaire ;
- Le remorqueur hauturier (haute mer) ;
- Le sauvetage en mer ;
- La maintenance de la flotte.

1.4.2 Les directions fonctionnelles

1.4.2.1 Direction du management intégré (DMI)

Elle est chargée de :

- La mise en oeuvre, le maintien et l'amélioration continue du Système de Management Intégré (processus, programmes de management, plans et projets d'amélioration 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 les 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.

1.4.2.2 Direction Finance et Comptabilité (DFC)

Elle a pour rôle la tenue de la comptabilité de l'entreprise, la gestion de la trésorerie (dépenses, recettes et placements), la tenue des inventaires et le contrôle de gestion (comptabilité analytique et contrôle budgétaire). Elle est constituée de deux départements : comptabilité et finances.

1.4.2.3 Direction Ressources Humaines et moyenne (DRHM)

Elle est chargée de prévoir, d'organiser et d'exécuter toutes les actions liées à la gestion des ressources humaines en veillant à l'application rigoureuse des lois et règlement sociaux Elle assure les tâches suivantes :

- La mise en oeuvre de la politique de rémunération de recrutement et de la formation du personnel ;

- La gestion des carrières du personnel ;
- La gestion des moyens généraux (achats courants, parc automobile, assurances,...);

1.4.2.4 Direction Zones Logistiques Extra-portuaires (DZLEP)

Elle est érigée en deux départements : Département de la zone logistique TIXTER et de la zone logistique d'IGHIL OUBEROUAK. Ses principales missions sont :

- Rapprocher la marchandise du client final ;
- Décongestionner les surfaces dans l'enceinte portuaire ;
- Réduire les temps d'attente en rade des navires dûs au manque d'espace d'entreposage, et réduire aussi les sur estaries ;
- Développer le transfert de masse des marchandises par voie ferroviaire ;
- Réduire les congestions sur les routes et réduire l'émission des gaz polluants.

La Figure 1.2 montre l'organigramme de l'entreprise portuaire de Bejaia.

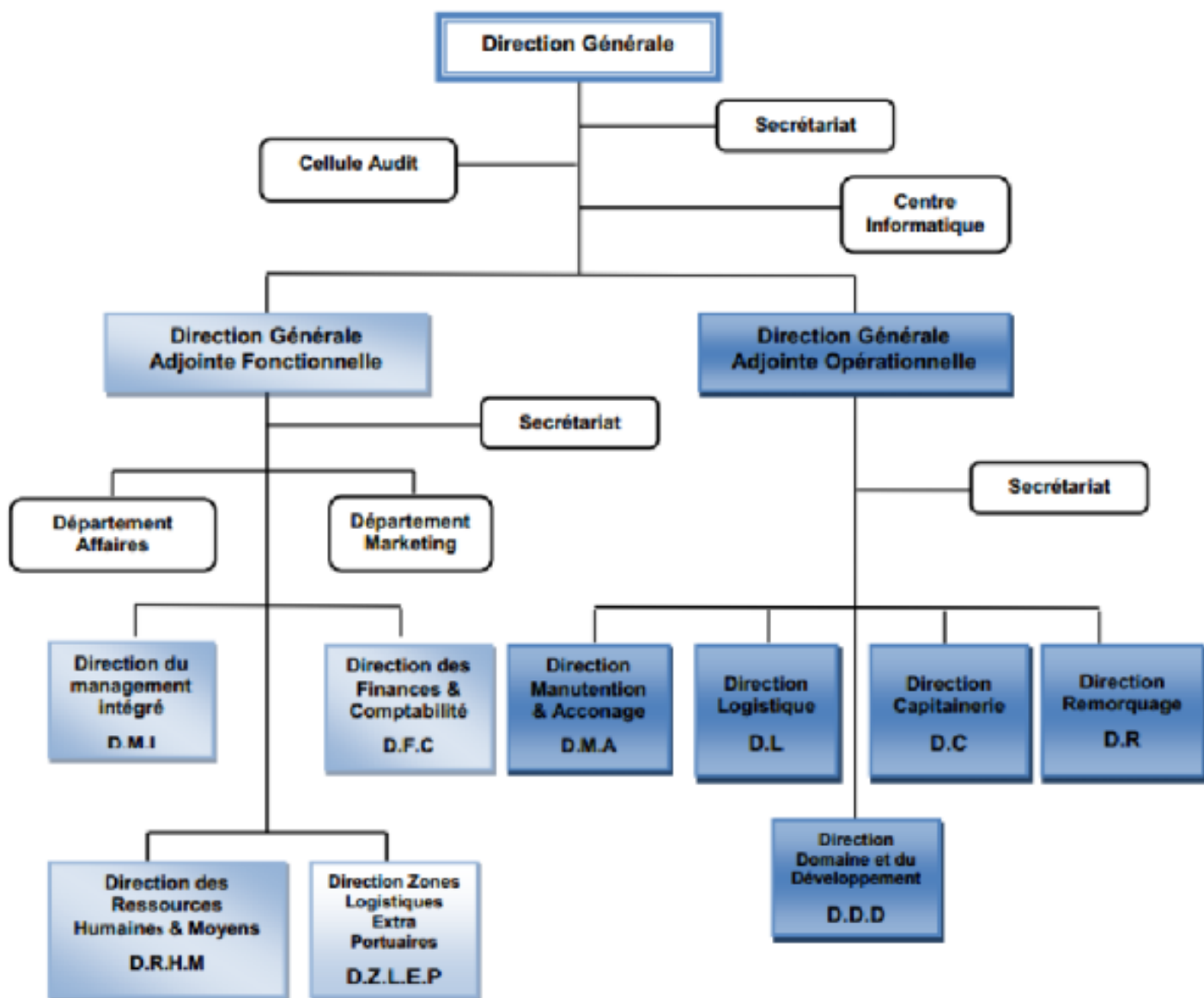


FIGURE 1.2 – Structure d’organigramme de l’EPB.

1.5 Missions et Activités de l’EPB

1.5.1 Missions :

Le rôle essentiel de l’EPB est la gestion, l’exploitation, le développement et la protection des installations portuaires. Elle assure toutes les opérations nécessaires pour la prise en charge totale des navires et des marchandises.

1.5.2 Activités :

Les activités du port sont d'intérêt international par ses lignes régulières que relie Bejaia aux continents. Parmi les activités du port, on distingue :

- L'organisation de l'accueil des navires ;
- L'exercice des opérations de pilotage, remorquage et lamanage ;
- Exécution des travaux d'entretien, d'aménagement et de renouvellement de la superstructure portuaire ;
- L'exercice des opérations de manutention et d'aconage des marchandises,...

Les principaux domaines d'activités sont :

- La gestion et l'exploitation de l'infrastructure et de la superstructure ;
- La manutention et l'aconage des marchandises ;
- La mise à disposition des infrastructures nécessaires aux activités relatives aux hydrocarbures ;
- Le pilotage, le remorquage et le lamanage des navires dans les limites de la zone de pilotage du port de Bejaia ;
- La sécurité et la sûreté dans les limites terrestres et maritimes du domaine portuaire.

1.6 Quais et caractéristiques

Le port s'étale sur une superficie totale de 79 hectares. Sa surface d'entreposage s'étale sur 410.000 m^2 dont 17.500 m^2 couverts. Il dispose de 3575 ml de quai, répartis sur 16 postes à quai pour les navires de marchandises générales, 03 postes à quai pour les navires pétroliers et 01 poste gazier [22].

Le tableau 1.1 montre les caractéristiques de chaque quai.

Nom du Quai	N° des postes à quai	Bassins	Profondeurs	Longueurs
Port pétrolier	01 à 03	Avant port	11.5 à 13.5	250, 260 et 260 m
Quai Nord	06 à 08	Vieux port	08	290 m
Quai Nord Ouest	09 à 11	Vieux port	08	273 m
Quai de la Casbah	12 et 13	Vieux port	08	257 m
Quai de la passe	14	Passé Casbah	08.50	146 m
Quai Sud Ouest	15 et 16	Arrière port	10	230 m
Quai de la gare	17 à 19	Arrière Port	10	530 m
Nouveau Quai	21 à 24	Arrière Port	12	750 m
Grande jetée du large	26	Arrière Port	12	78 m

TABLE 1.1 – Quais et caractéristiques du port de Bejaia.

1.7 Parcours d'un navire arrivant au port de Bejaia

1.7.1 Étape de mouillage

À l'exception des car-ferries, tout navire arrivant au port de Bejaia est mis en attente dans la zone de mouillage (rade) durant une durée qui varie d'un navire à un autre. Selon les types des navires.

1.7.2 Étape de service

Cette étape est assurée par des sections opérationnelles telles que les sections de pilotage, remorquage et amarrage, de manutention des marchandises, de facturation de polices et sécurité et enfin des services divers.

1) Section pilotage, remorquage, amarrage.

Le service est assuré par la capitainerie de jour comme de nuit, samedi et jours fériés. Le pilotage est obligatoire aussi bien à l'entrée qu'à la sortie. Un minimum de (01) remorqueur est obligatoire sauf à la demande pour les navires de ligne régulière. Donc, à tout navire rentrant à quai, est affecté un pilote et un nombre de remorqueurs qui dépend de ses caractéristiques présentées dans le tableau ci-dessous et l'amarrage des navires marque la fin de ce service.

Longueur du navire	Nombres de remorqueurs affectés
\leq à 110 mètres	01
De 110 à 130 mètres	02
\geq à 130 mètres	03

TABLE 1.2 – Affectation des remorqueurs par type de navire [16].

2) Section manutention

Ce service est assuré par la direction de manutention et de l'aconage, du samedi au jeudi inclus, vendredi et jours fériés de 06 h à 19 h réparties en deux shifts ; le 3 ème shift, qui est optionnel, s'étale entre 19 h et 01 h du matin.

3) Autres sections

Elles n'interviennent qu'à la demande des représentants des navires. Elles concernent le ravitaillement en eau, en carburant, en vivres et éventuellement l'évacuation des malades vers les hôpitaux, ainsi que la mise à disposition de produits d'entretiens tels que la peinture.

1.7.2.1 Allocation de quai au navire

L'objectif d'allocation de quai est de déterminer un horaire d'affectation des navires au quai qui permet de minimiser le temps total de l'exécution des opérations. Pour cela plusieurs facteurs sont pris en considération. Tout d'abord la disponibilité de quai, la caractéristique des navires ensuite l'emplacement des marchandises. Comme les navires maritimes suivent un horaire régulier, dans la plupart des cas, la décision d'attribuer un poste à quai au navire doit être prise sur une base régulière. Les postes d'accostage à l'EPB sont affectés par le président d'une conférence de placement des navires (CPN) qui doit être fait quotidiennement le matin à 10 h sauf le samedi et les jours fériés pour affecter les navires à poste à quai [9].

Cette conférence a une procédure à suivre.

La procédure de la CPN : Son objectif est la prise en charge des commandes clients et placement des navires en toute sécurité. Le président de la CPN établit le programme des mouvements arrêtés dans les 24 h à venir, selon les priorités d'accostage des navires et les critères d'affectation des postes d'accostages pour :

- Décider des navires en sortie ;
- Décider des navires en entrée ;
- Prévoir les mouvements éventuels dans le port ;
- Exprimer des réserves éventuelles.

Critères d'affectation des postes d'accostages :

- Tirant d'eau maximum et longueur du navire ;
- Type de navire et nature de marchandises ;

- Nature de l'escale (chargement, déchargement, relâche, réparation, avitaillement, mesures sanitaires et allègement) ;
- Durée de l'escale ;
- Paramètre de sécurité ;
- Contrainte d'exploitation (disponibilité des airs d'entreposage) ;
- Diversification des navires présents au port, avec esprit de service public et intérêt général ;
- Situation du client vis-à-vis de l'entreprise portuaire de Bejaia (créance, contrat).

Priorité d'accostage : Sauf dérogation motivée et règlementaire du directeur de la capitainerie ou son remplaçant représentant l'autorité portuaire, les mouvements de navires au port de Bejaia sont comme suit :

- Les navires sortant sont prioritaires sur les navires entrant ;
- Les navires de passage sur tous les autres ;
- Les gaziers au poste 24 durant la saison hivernal ;
- Les caboteurs d'essence au poste 19 ;
- Les navires animaliers ou de denrées périssables sur les autres cargaisons ;
- Les navires transportant des produits stratégiques dans le cadre de plans nationaux ou de souveraineté ;
- Les navires de lignes régulières ou ceux à escale rapide (maximum deux shifts) sur les autres cargos non prioritaires ;
- Les navires régis par des conventions particulières ;
- Les huiliers au postes 23 ou 24 lorsque le poste est libéré par le gazier ;
- Les urgences d'accostage ne sont effectives qu'à la demande écrite des bénéficiaires ;
- Le bénéficiaire de la libération d'un poste à quai supporte tous les frais de préparation du poste, sauf lorsque le poste spécialisé. Dans ce cas, l'occupant de celui-ci supporte les frais de mouvement au bénéfice du navire spécialisé ;
- Le bénéficiaire de la priorité est tenu d'effectuer la demande de poste et les autres formalités de la même manière que les autres navires prioritaires.

1.7.3 Les mouvements d'un navire

Un navire qui arrive au port peut passer par plusieurs postes. L'action de changer de poste s'appelle **mouvement**. Le mouvement peut être dû :

- Soit au besoin des autorités portuaires de libérer un poste pour un navire de priorité supérieure; Exemple : Les postes 8, 12 et 13 sont les postes d'accostage des car-ferries; lorsque des navires cargos y sont travaillés et qu'un car-ferry se présente. un des cargos fait un mouvement pour lui libérer le poste.
- Soit à cause du type de marchandise qu'il transporte. Exemple : un navire essence en générale transporte du gasoil et de l'essence en même temps. Dans ce cas il décharge le gasoil au poste 1 et fait un mouvement au poste 19 pour décharger l'essence.

Le navire concerné par le mouvement est dirigé vers un autre poste, s'il y en a un poste libre et qui correspond à ses caractéristiques, sinon il est remis en rade en attendant qu'un poste soit libéré [23].

Les principales fonctions opérationnelles et administratives d'un port sont représentées dans l'organigramme suivant :

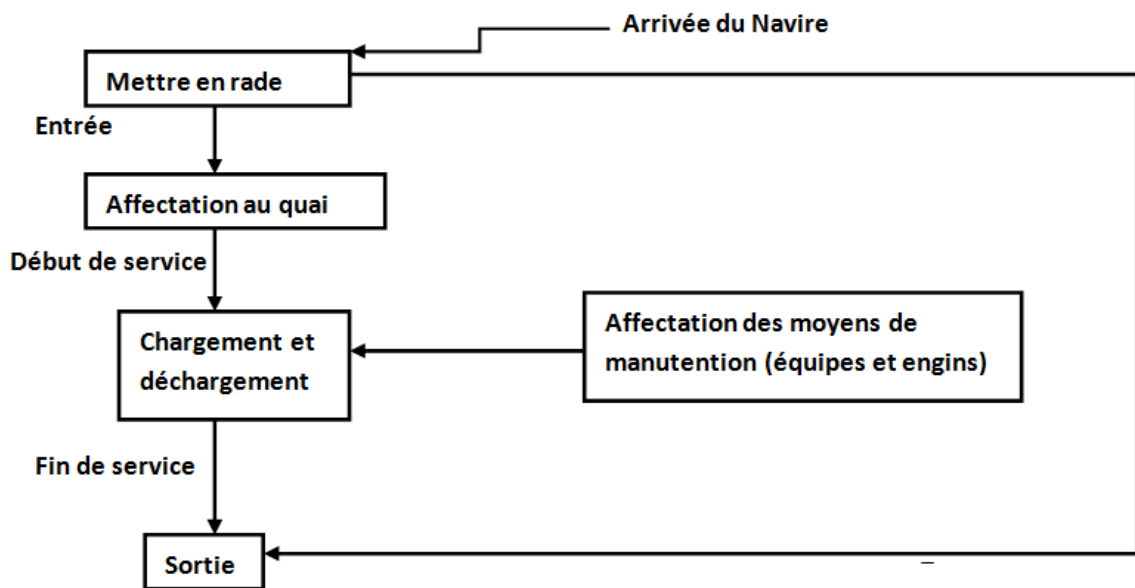


FIGURE 1.3 – Modélisation du parcours d'un navire.

1.8 Position du problème

Parmi les points essentiels permettant de rendre optimal le fonctionnement d'un port est la minimisation des coûts qu'il engendre. En général, minimiser les coûts de transport consiste à :

- Réduire les délais d'attente en rade et en poste à quai pour éviter l'engorgement ;
- Réduire la durée de chargement et déchargement des marchandises à manutentionner ;

- Pourvoir prendre les meilleures décisions en ce qui concerne l'affectation des navires aux quais ;
- Utiliser la main-d'oeuvre et le matériel de façon à satisfaire tous les clients en attente de service ;
- Définir les tarifs optimums d'entreposage des marchandises dans les ports.

Depuis 2012, le port de Bejaia a subi d'importants changements dans ces infrastructures. On cite, entre autres :

- La création de trois nouvelles directions (la direction remorquage DR, la direction systèmes d'information et la direction zones logistiques extra-portuaire) ;
- la réhabilitation des postes à quai n°17, 18, 19, 21 et 22 ;
- La libération de plus de 20 000 m^2 de terre-pleins au niveau des postes 6,7 et 8 ;
- Réalisation du poste 25(en cour) ;
- Aménagement d'un poste d'accostage RO/RO spécialisé pour car-ferries ;
- Réalisation d'une gare maritime ;
- Réalisation de la nouvelle clôture du port ;
- Réhabilitation des postes 1, 2 et 3 du port pétrolier,...

Tous ces facteurs ont fait que le système portuaire a changé depuis 2012.

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB). En effet, nous avons donné un aperçu général sur ses directions, ses missions ainsi que ses activités qui jouent un rôle essentiel dans une entreprise. Dans le chapitre suivant, nous donnons quelques notions de bases sur quelques modèles analytiques à savoir les files d'attente et les réseaux de Petri.

Au cours de cette étude, nous présenterons une analyse du fonctionnement du port de Bejaia. Dans cette analyse, nous allons mettre en évidence les performances relatives au temps d'attente en rade, aux taux d'occupation du système et des postes à quai et au temps total de séjour d'un navire au port.

Peut-on mesurer l'effet de ces investissements sur le fonctionnement actuel du port de Bejaia ?

CHAPITRE 2

NOTIONS DE BASE SUR LES FILES D'ATTENTES ET LES RÉSEAUX DE PETRI

2.1 Introduction

L'étude d'un système est rarement réalisable dans un environnement opérationnel. Une façon pour analyser un système est de représenter son fonctionnement de manière plus au moins précise. Pour cela, on s'appuie sur des outils (descriptifs, mathématiques ou autres) permettant d'approcher le comportement du système. Cette phase de substitution du système par un modèle se nomme modélisation [6]. De nombreuses recherches ont pour objet l'étude de la performance des systèmes. Chacune propose une définition selon le domaine de son étude et les objectifs qui orientent son analyse. En effet, le mot performance signifie accomplissement, réalisation et résultats réels. La notion de performance est complexe. Elle est multicritère et s'articule autour de plusieurs enjeux à savoir le coût, l'amélioration continue, la qualité de service et les délais des services. Dans ce chapitre, nous allons introduire les principales définitions, concepts fondamentaux et quelques notions de bases des Réseaux de File d'Attente et des Réseaux de Petri.

2.2 Rôle et importance des indicateurs de performance

Un indicateur de performance est considéré comme une variable quantifiée pertinente pour la prise de décision de pilotage. Il permet également l'évaluation des résultats obtenus après l'exécution des tâches, plusieurs définitions de la notion d'indicateur de performance ont été données dans la littérature [5].

- Un indicateur de performance permet d'aider un acteur, individuel ou plus généralement collectif, à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif ou devant lui permettre d'évaluer le résultat.
- La notion d'indicateur de performance représente d'une part, une donnée permettant d'aider un décideur ou un groupe à effectuer les choix nécessaires pour atteindre les objectifs fixés. D'autre part, il est considéré comme une donnée qui permet d'indiquer l'efficacité par rapport à un objectif ou à une norme déterminée.

Dans le domaine portuaire, la liste des indicateurs de performance permet de contrôler la mise en oeuvre des règles de gestion et d'explorer les améliorations possibles. Elle n'est jamais définitive car elle est liée aux besoins des utilisateurs où les objectifs ont une influence sur les indicateurs de performance. La démarche de l'évaluation des performances peut être résumée dans la figure suivante.

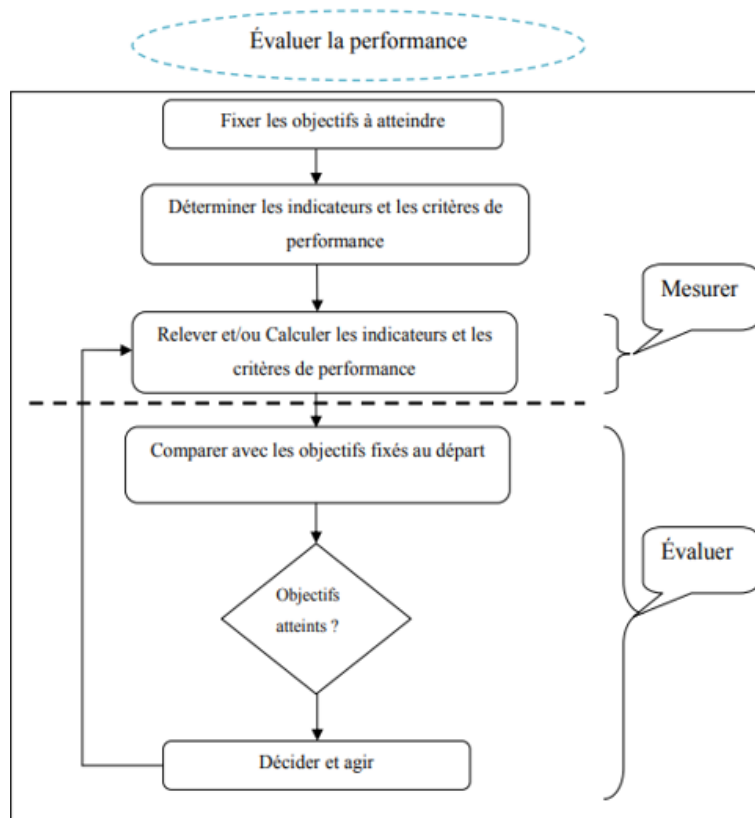


FIGURE 2.1 – Démarche d'évaluation de la performance d'un système [6].

2.3 Les systèmes de files d'attente

La théorie des files d'attente est une technique de la Recherche Opérationnelle qui permet de modéliser un système admettant un phénomène d'attente, de calculer ses performances et de déterminer ses caractéristiques pour aider les gestionnaires dans leurs prises de décisions. Les files d'attente peuvent être considérées comme un phénomène caractéristique de la vie contemporaine. On les rencontre dans les domaines d'activité les plus divers. L'étude mathématique des phénomènes d'attente constitue un champ d'application important des processus stochastiques. On parle d'une manière aléatoire à des "stations" afin de recevoir un service dont la durée est généralement aléatoire.

2.3.1 Identification et classification des systèmes d'attente

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

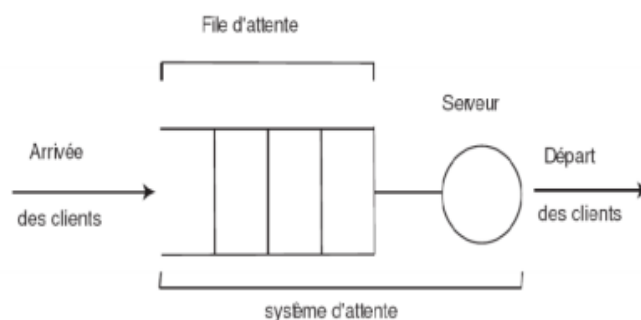


FIGURE 2.2 – Représentation d'un système d'attente.

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

- La nature stochastique du processus des arrivées, qui est défini par la distribution des intervalles séparant deux arrivées consécutives ;
- La distribution du temps aléatoire de service ;
- Le nombre m de stations de service qui sont montées en parallèle. On admet généralement que les temps de service correspondants suivent la même distribution et que les clients qui arrivent forment une seule file d'attente ;

- La capacité N du système. Si $N < \infty$, la file d'attente ne peut dépasser une longueur de $N - m$ unités. Dans ce cas, certains clients arrivent vers le système n'ont pas la possibilité d'y entrer.

2.3.2 Discipline de service d'une file d'attente

Les clients peuvent être servis individuellement ou par groupe. Cependant, plusieurs possibilités existent quant à l'ordre selon lequel ils seront servis. Les principales disciplines de services sont :

- FIFO (First In First Out) : les entités sortent dans l'ordre suivant lequel elles sont entrées. Cette discipline est la plus utilisée ;
- LIFO (Last In First Out) : la dernière entité dans la file est la première à être servie. C'est le cas de la pile au niveau des ordinateurs ;
- Random : toutes les entités ont la même probabilité d'être servies en premier ;
- Prioritaire : le client avec priorité la plus haute est servi en premier suivant la discipline de service FIFO au sein d'une même classe. Pour la discipline "Prioritaire", on distingue deux variantes, le client en service est interrompu lorsqu'un client plus prioritaire arrive ou non. Cette discipline est celle de priorité "non préemptive" si le client en service n'est pas interrompu lorsqu'un client plus prioritaire entre dans le système. Dans le cas contraire, le client en service est interrompu lorsqu'un client plus prioritaire arrive, pour que ce dernier puisse commencer son service aussitôt. Une fois le service du client prioritaire terminé, le client interrompu reprend son service, et à ce niveau, on distingue deux politiques :
 - **Priorité préemptive avec recommencement** : le client interrompu reprend son service au début.
 - **Priorité préemptive avec continuation** : le client interrompu reprend son service là où il a été interrompu.

2.3.3 Notation de Kendall

Pour décrire un système de files d'attente, il suffit de donner ses paramètres par la notation de Kendall suivante[12] :

A/B/m/K/N/D où :

- **A** : distribution d'inter-arrivée ;
- **B** : distribution de service ;
- **m** : le nombre de serveurs ;

- **K** : la capacité du système ;
- **N** : population des usagers ;
- **D** : discipline de service.

Où A et B sont donnés par :

- M (Markovien) : pour un processus de poisson ;
- G (Général) : pour un processus quelconque non précisé ;
- GI : lois générales indépendantes ;
- D : loi constante (déterministe) ;
- E_K : loi Erlang à K étapes ;
- H_K : loi hyperexponentielle à K étapes ;
- C_K : loi de Cox à K étapes.

Lorsque les derniers éléments de la notation de Kendall ne sont pas précisés, il est sous-entendu que $N = +\infty$, $m = +\infty$, $z = FIFO$.

2.3.4 Mesure de performance

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

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

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

$$\begin{aligned} L_s &= \lambda W_s ; \\ W_s &= W_f + \frac{1}{\mu} ; \\ L_f &= \lambda W_f ; \\ L_s &= L_f + \frac{\lambda}{\mu} ; \end{aligned}$$

Avec :

- [•] λ : Taux des arrivées de clients dans le système ;
- [•] μ : Taux de service.

2.3.5 Formule de Little

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

$$L = \lambda W$$

Cette formule est l'un des résultats les plus généraux et utiles dans la théorie des files d'attente [19].

2.3.6 Modèles markoviens

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

2.3.6.1 Système M/M/1

Ce système est composé d'une file de capacité infinie et d'un unique serveur. La discipline de service de la file est FIFO et le processus des arrivées est poissonnien de taux λ , de même la durée de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux μ [2].

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

$\{X(t), t \geq 0\}$ est un processus stochastique à espace d'état discret et à temps continu.

Le régime stationnaire du processus stochastique définie par :

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

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

Nombre moyen de clients dans le système :

$$L_s = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

Nombre moyen de clients dans la file :

$$L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu};$$

Temps moyen de séjour dans le système :

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda};$$

Temps moyen d'attente dans la file :

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

2.3.6.2 Le système M/M/1/K

Dans ce système la capacité de la file d'attente est finie. On a donc toujours les hypothèses suivantes :

Le processus d'arrivées des clients dans la file est un processus de Poisson de taux λ et le temps de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux μ . Soit K la capacité de la file d'attente : c'est le nombre maximal de clients qui peuvent être présents dans le système, soit en attente ou en service. Quand un client arrive alors qu'il y a déjà K clients présents dans le système, il est perdu, dans ce cas le système est dit système avec refus ou bien le système se bloque [2].

2.3.6.3 Le système M/M/ ∞

On considère un système composé d'un nombre illimité de serveurs indépendants les uns des autres. Dès qu'un client arrive, il rentre instantanément en service. Cette file particulière ne comporte donc pas de file d'attente. Les processus des arrivées des clients est poissonien de taux λ et les temps des services sont exponentiels de taux μ , $i=1, \dots, \infty$.

Ce système est complètement décrit par la chaîne de Markov à temps continue [2].

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

La plupart des travaux sur les modèles d'attente classiques traitent des systèmes dans lesquels les clients arrivent un par un. Cependant, dans plusieurs situations pratiques, on rencontre souvent des cas où les clients arrivent par groupes et non pas séparément. Ces situations d'attente peuvent être représentées par des modèles appelés modèle avec arrivées par groupe [4].

Ce modèle est caractérisé par les éléments suivants :

- Les groupes arrivent selon un processus de Poisson de taux λ ;

- Les clients sont servis individuellement, les durées des services étant indépendantes et distribuées suivant une loi exponentielle de moyenne $1/\mu$;
- La discipline de service est FIFO;
- La taille des groupes est une variable aléatoire strictement positive.

Les arrivées des clients ne forment pas un processus de naissance et de mort. Cependant le système est markovien, puisque le comportement futur du système dépend uniquement de la situation présente.

2.3.7 Modèles non markoviens

En s'écartant de l'hypothèse d'exponentialité de l'une ou des deux quantités stochastiques "les temps des inter-arrivées" ou bien "les durées de services" ou bien en introduisant des paramètres supplémentaires spécifiques au modèle tels que : la priorité, les rappels, les blocages,... On n'aura plus de processus Markovien. Ce qui rend l'analyse du modèle très délicate, voire impossible [4].

2.3.7.1 Le système M/G/1

C'est un système formé d'une file FIFO à capacité illimitée et d'un seul serveur. Le processus d'arrivées des clients dans la file est toujours supposé poissonien de taux λ , mais maintenant, le temps de service d'un client est distribué selon une variable aléatoire générale X qui n'est pas exponentielle mais suit une loi quelconque.

2.3.7.2 Le système G/M/1

Le système G/M/1 est semi-markovien. Il constitue le dual du système M/G/1. Dans ce cas, les temps des inter-arrivées des clients suivent une loi générale, et les temps de service sont indépendants et identiquement distribués selon une loi exponentielle de paramètre μ [2].

2.3.8 Les réseaux de files d'attente

Un réseau de files d'attente est simplement un système composé d'une ou plusieurs files d'attente reliées entre elles. Les clients (dans les cas les plus simples, tous "identiques"), une fois leur service terminé dans une station, se déplacent vers une autre station ou quittent le système selon des règles de routage (déterministe ou stochastique) [15].

Un réseau de files d'attente est dit ouvert lorsque des arrivées des clients depuis l'extérieur du système sont possibles et lorsque les clients peuvent quitter le système. A priori, les arrivées externes

peuvent avoir lieu dans n'importe quelle station et il en est de même des départs, l'important étant que tout client entrant ou présent dans le système ait une possibilité de le quitter un jour. Lorsqu'aucun client ne peut ni entrer dans le système ni le quitter, le réseau est dit fermé. Le nombre de clients dans un réseau fermé est donc constant au cours du temps. Il existe également des réseaux mixtes qui ne sont, cependant, qu'une juxtaposition de systèmes ouverts et fermés [13].

2.3.8.1 RFA à forme produit

La définition la plus simple de l'état d'un réseau consiste à définir l'état $x(t)$ du système au temps t comme le vecteur $(x_1(t), \dots, x_j(t))$ où $x_j(t)$ est le nombre de clients présents à l'instant t dans la file j . Un réseau est à forme produit si, sous les conditions de stabilité à savoir la charge du système $\rho < 1$ dans chaque file d'attente, il possède une distribution stationnaire Π de la forme :

$$\Pi(x) = \Pi(x_1, \dots, x_j) = \prod_{j=1}^J \Pi(x_j).$$

2.3.8.2 Réseaux de Jackson

Un réseau de Jackson est composé de J files d'attente ne comportant chacune qu'un seul serveur de capacité infinie et utilisant une discipline de service FIFO. Chaque file fournit un service de durée exponentielle et le taux de service de la file j étant lui aussi exponentiel de taux μ_j .

Les clients arrivent dans le système selon des processus de Poisson, le taux d'arrivées dans la file j est γ_j .

Après avoir terminé son service à la station j , un client se déplace à la station k avec une probabilité r_{jk} et :

$$r_{j0} = 1 - \sum_{k=1}^J r_{jk}.$$

De telles règles définissent un routage markovien.

- **Condition de stabilité** Pour qu'un réseau soit stable, chacune de ses files d'attente doit l'être. Notons λ'_j le taux moyen d'arrivée dans la file j , on peut écrire les équations de conservation :

$$\lambda'_j = \gamma_j + \sum_{i=1}^J \lambda_j r_{ij} \quad ; j = 1 \dots J.$$

- **Distribution stationnaire** Les réseaux de Jackson sont des réseaux ouverts à forme pro-

duit, et sous les conditions de stabilité, la distribution stationnaire est donnée par :

$$\Pi(x) = \Pi(x_1, \dots, x_j) = \prod_{j=1}^J \Pi_j(x) = \prod_{j=1}^J (1 - \rho_j) \rho_j^{x_j}.$$

Un tel réseau se comporte comme J files d'attente M/M/1 indépendantes de charge respectives :

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}, \dots, \rho_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}.$$

2.3.8.3 Autres RFA à forme produit

Plusieurs réseaux de files d'attente possèdent cette propriété de forme produit, cependant cette classe de réseaux de files d'attente reste très restrictive. Parmi les réseaux de files d'attente dont cette propriété a été établie on peut citer : les réseaux de Gordon Nowell, les réseaux de Kelly, les réseaux BCMP (Baskett, Chandy, Muntz et Palacios),...

2.4 Les Réseaux de Petri

Un Réseau de Petri (RdP)[23] est un outil graphique de modélisation et d'évaluation des performances, des systèmes complexe qui recouvre des systèmes de production, de communication et d'informatique,...

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

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

2.4.1 Représentation mathématique d'un réseau de Petri

On appelle le réseau de Petri [17] le quadruplet $N = (P, T, Pre, Post)$, où :

- P est un ensemble fini de places $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$;
- T est un ensemble fini fr transitions $\{T = t_1, t_2, \dots, t_n\}$, tel que $T \cap P = \emptyset$;
- $Pre : T \times P$ est la fonction de de précondition ou incidence avant ;
- $Post : T \times P$ est la fonction de postcondition ou incidence arrière.

2.4.2 Représentation matricielle

A un réseau de Petri on peut associer un graphe qui possède deux types de noeuds : les places notées graphiquement par des cercles et les transitions notées graphiquement par des traits ou des rectangles. Un arc relie une place p à une transition t si et seulement si $Pré(p, t) \neq 0$.

Un arc relie une transition t à une place p si et seulement si $Post(p, t) \neq 0$. Les valeurs non nulles des matrices $Pré$ et $Post$ sont associées aux arcs comme étiquettes (par défaut on prend la valeur 1).

Le marquage M peut être représenté par un vecteur ayant pour dimension le nombre de places. Les fonctions $Pré$, $Post$ et W seront présentées par des matrices dont le nombre de lignes est égal au nombre de places et le nombre de colonnes est égal au nombre de transitions.

* On appelle matrice d'incidence avant la matrice :

$$W^- = [w_{i,j}^-], \quad w_{i,j}^- = I(P_i, T_j)$$

* On appelle matrice d'incidence arrière la matrice :

$$W^+ = [w_{i,j}^+], \quad w_{i,j}^+ = I(P_i, T_j)$$

* On appelle matrice d'incidence la matrice :

$$W = W^+ - W^- = [w_{i,j}]$$

Par exemple pour le RdP ci-dessous on le représente avec les matrices suivantes :

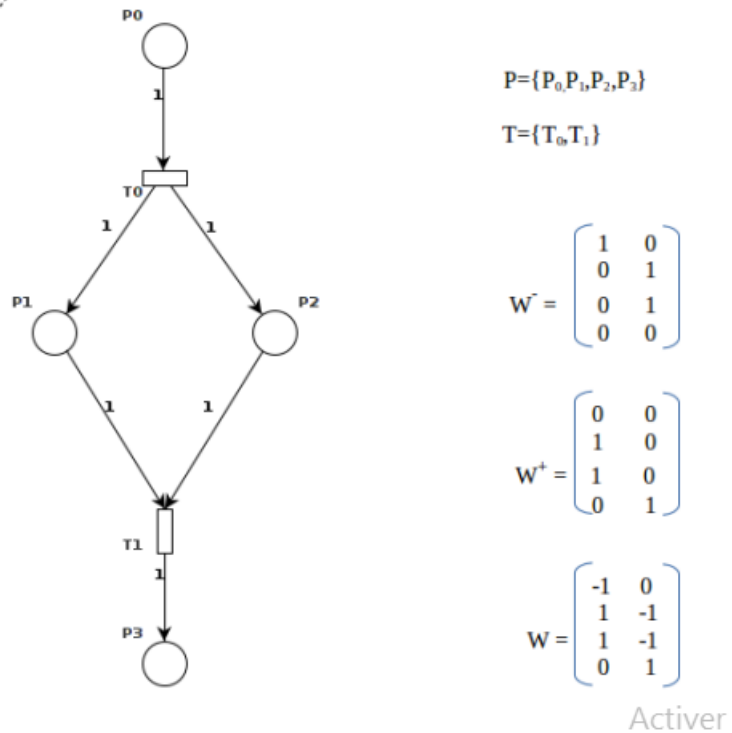


FIGURE 2.3 – Représentation matricielle d'un RdP.

2.4.3 Dynamique des Réseaux de Petri ordinaires

Étant donnée un marquage, une transition est sensibilisée (franchissable) si dans chacune de ses places d'entrée il y a au moins le nombre de jetons indiqués par le poids de l'arc correspondant. Le déclenchement (ou franchissement) d'une transition sensibilisée consomme des jetons de ses places d'entrée et ajoute des jetons dans ses places de sortie. Le nombre de jetons consommés et produits correspond aux poids des arcs. À la suite d'un déclenchement, on obtient un nouveau marquage, qui n'a pas forcément le même nombre total de jetons que le précédent. Étant donné que plusieurs transitions peuvent être sensibilisées dans un même marquage, l'évolution du réseau dépend du choix de la transition à déclencher. Ainsi, à partir d'un état le réseau peut évoluer selon différents scénarios, en fonction des choix faits à chaque étape. L'idée et l'intérêt du réseau de Petri est précisément de représenter potentiellement toutes les évolutions possibles d'un système puis de calculer des propriétés qui restent valables quelque soit l'évolution [18].

2.4.4 Le marquage dans un RdP :

Le marquage d'un Réseau de Petri à un instant donné est un vecteur colonne dont la valeur de la i^{ime} composante est le nombre de marques dans la place P_i à cet instant. Le franchissement d'une

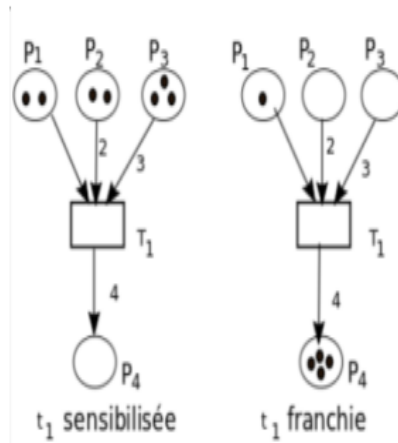


FIGURE 2.4 – Exemple de franchissement dans un RdP.

transition conduit à un changement du marquage. Le passage du marquage M_k au marquage M_l par franchissement de la transition T_j est noté : $M_k | T_j > M_l$. Le nombre de marques dans la place P_i pour le marquage M_k est noté $M_k(P_i)$. A partir d'un même marquage, il peut être possible de franchir plusieurs transitions, menant ainsi à des marquages différents. L'ensemble des marquages accessibles à partir du marquage M_0 est l'ensemble des marquages obtenus à partir de M_0 par franchissements successifs d'une ou plusieurs transition(s). Cet ensemble est noté M_0^* .

2.4.5 RdP à arcs inhibiteurs

Dans ces RdP, on ajoute un nouveau type d'arcs, allant d'une place vers une transition, appelé arc inhibiteur. Cet arc indique l'une des conditions de franchissabilité de la transition est que la place ne contienne aucun jeton [6].

2.4.6 Structures de contrôle

Les RdP permettent de modéliser un certain nombre de comportements importants dans les systèmes [3].

- Le parallélisme ;
- La synchronisation ;
- Le partage de ressources.

1) **Le parallélisme** : Le parallélisme représente la possibilité que plusieurs processus évoluent simultanément au sein du même système. On peut provoquer le départ simultané de deux processus

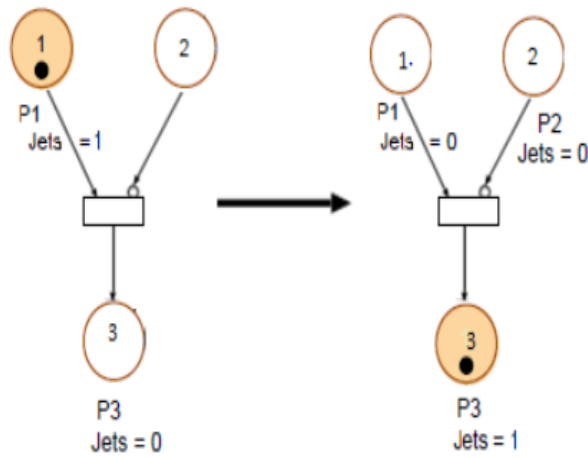


FIGURE 2.5 – Un graphe à arcs inhibiteurs.

d'évolution à l'aide d'un transition ayant plusieurs place de sortie.

- 2) **Synchronisation** : La synchronisation permet de synchroniser les opération de deux processus.
- 3) **Partage de ressources** : Cette structure va modéliser le fait qu'au sien du mme système plusieurs processus ont la même ressource.

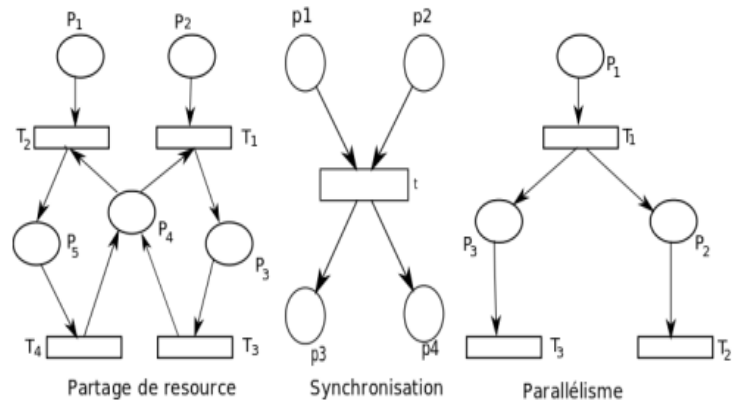


FIGURE 2.6 – Exemple de structures de contrôle.

2.4.7 Les propriétés structurelles et les propriétés comportementales

Propriétés structurelles : Les RdP avec une structure particulière ont des propriétés que n'ont pas forcément les RdP en général [8].

- **Graphe d'états** : Un réseau de Pétri est un graphe d'états si et seulement si toute transition a exactement une place d'entrée et une place de sortie ;
- **Graphe d'événements** : Un réseau de Petri est un graphe d'événements si et seulement si toute place a exactement une transition d'entrée et une transition de sortie ;
- **RdP conflit** : dans un RdP lorsqu'une place se trouve en amont de plusieurs transitions, on dit que ces transitions sont en concurrence. On parle de conflit structurel, car cela ne dépend pas du marquage. Dans certains cas, le franchissement de l'une des transitions peut empêcher le franchissement de l'autre. Le conflit devient conflit effectif quand il y a effectivement conflit, cela dépend du marquage ;
- **RdP à choix libre** : Un réseau de Petri est dit à choix libre si et seulement si les transitions de sortie de tous ses conflits n'admettent qu'une seule place d'entrée ;
- **RdP à choix libre étendu** : Un réseau de Petri est dit à choix libre étendu si et seulement si pour chaque conflit, toutes les transitions de sortie de celui-ci admettent les mêmes places d'entrée ;
- **RdP simple** : Un réseau de Petri est dit simple si et seulement si toutes ses transitions n'interviennent que dans un seul conflit au maximum ;
- **RdP pur** : Un réseau de Petri est dit pur si et seulement s'il n'existe pas de transition ayant une place d'entrée qui est aussi place de sortie.

Les propriétés comportementales : Ces propriétés dépendent à la fois du marquage initial M_0 et de la structure du réseau. Parmi les propriétés comportementales nous citons :

- **L'accessibilité** : un marquage M_i est dit accessible à partir du marquage M_0 , s'il existe (au moins) une séquence exécutable S (séquence de franchissements de transitions) qui mène de M_0 à M_i , l'ensemble de marquages accessibles à partir de M_0 est noté par M_1 ;
- **Le blocage** : lorsqu'un marquage ne valide aucune transition. Le RdP ne peut plus d'évoluer. On parle alors d'état put ou de blocage mortel (Deadlock) ;
- **RdP borné** : lorsque le nombre d'états accessibles par le marquage initial M_0 est fini ;
- **RdP sauf** : lorsque pour tout marquages les places contiennent au plus un jeton ;
- **RdP conservatif** : lorsque le nombre de jetons reste inchangé quel que soit le marquage ;
- **RdP vivant** : lorsque toutes les transitions sont franchissables par une séquence de tirs à partir du marquage initial M_0 .

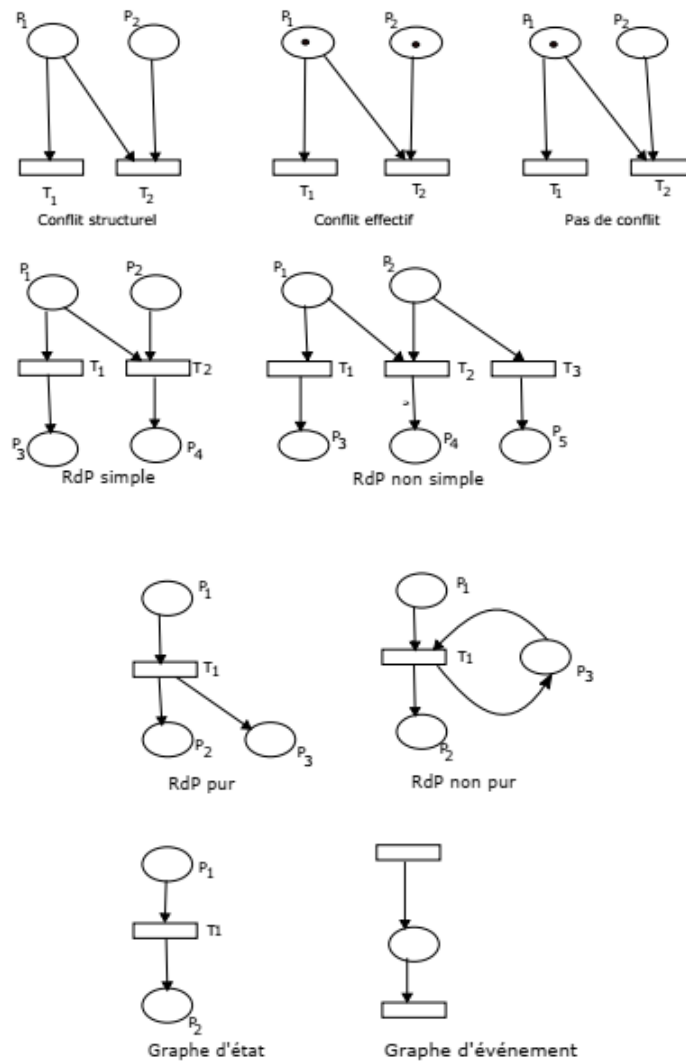


FIGURE 2.7 – Les propriétés structurelles d'un RdP.

2.5 Les différentes extensions des RdP

Dans les section précédentes, nous avons présenté les RdP ordinaires. De nombreuses extensions ont été développées pour permettre une représentation de certains comportements ou structures. Nous présentons ci dessous quelques extensions, et ces extension peuvent aussi se combiner pour former une classe de RdP.

Les RdP autonomes : Un RdP autonome d'écrit le fonctionnement d'un système de façon autonome, c'est-à-dire dont l'évolution est régi par ses propres lois. La succession des quartes saisons peut être ainsi modélisée par un RdP autonome. Nous pouvons citer :

- **Le RdP généralisé :** on affect un poids (nombre entier positif associé aux arcs). Ce poids

indique le nombre de jetons consommés ou créés lors du franchissement d'une transition. On retrouve ces poids dans la matrice d'incidence.

- **Le RdP coloré** : dans un RdP coloré, les marques peuvent être différenciées par des couleurs. La coloration des jetons permet de différencier les ressources circulant dans le RdP.
- **Le RdP continu** : dans un RdP continu le marquage des places n'est plus un nombre entier mais un nombre réel positif.
- **Le RdP hybride** : ces RdP sont utilisés pour représenter des systèmes ayant à la fois des caractéristiques discrètes et continues.

Les RdP non autonomes : Un RdP non autonome décrit le fonctionnement d'un système dont l'évolution est conditionnée par des événements externes ou par le temps. Un RdP non autonome est synchronisé et / ou temporisé.

Nous pouvons citer :

- **Le RdP T-temporisé** : dans les RdP T-temporisés, une durée de franchissement est affectée aux transitions. À chaque transition T_j est associée une temporisation d_j constante. Cette particularité permet de décrire des systèmes dont le fonctionnement est dépendant du temps. Ces RdP sont utiles pour l'évaluation de performance.
- **Le RdP P-temporisé** : l'aspect temporel est ici affecté aux places. Aussi, à chaque place P_i est associée une temporisation d_i constante.
- **Le RdP stochastique** : Dans les réseaux de Petri stochastiques, les délais associés aux transitions sont aléatoires contrairement aux durées déterministes et constantes associées aux RdP temporisés. Ces temps sont modélisés par des variables aléatoires dont la loi est souvent considérée comme étant exponentielle. Ceci, permet d'approcher le graphe des marquages à un processus markovien.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques notions générales de la théorie des files d'attente ainsi que quelques modèles de systèmes de files d'attente. Un intérêt particulier est accordé au formalisme des réseaux de Petri. En effet, nous nous sommes intéressés principalement aux aspects dynamiques et à l'étude comportementale de ces derniers. Par ailleurs, nous avons exposé les différentes extensions apportées aux Réseaux de Petri de base.

Dans le chapitre suivant nous allons donner un petit état de l'art sur les études réalisées au sein de l'entreprise portuaire de Bejaia concernant les mouvements des navires.

CHAPITRE 3

ETUDES RÉALISÉES SUR LE MOUVEMENT DES NAVIRES AU SEIN DE L'EPB

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les deux études réalisées par des étudiants du département de Recherche Opérationnelle au sein de l'Université de Bejaia. L'objectif était d'analyser les mouvements de la navigation au niveau de l'Entreprise Portuaire de Bejaia, afin d'évaluer la capacité de ce port et de faire face à l'augmentation du trafic à court et à moyen terme.

Deux modèles de simulation du fonctionnement du port ont été élaborés. Leurs objectifs étaient de reproduire les conditions du fonctionnement des mouvements de la navigation. Ils se sont intéressés principalement à la détermination du temps de séjour en rade, à quai et dans le système. Le choix s'est porté principalement sur ces indices de performances car ils jouent un rôle important dans l'établissement des coûts des opérations portuaires.

Depuis 2012, le port de Bejaia a connu d'importants changements (au niveau de la superficie, moyens humains et matériels,...) et ne cesse de croître. Nous allons par la suite donner les principales raisons qui nous ont conduit à faire une nouvelle étude sur le mouvement de la navigation.

3.2 Etude réalisée en 1998

Le mouvement des navires au niveau du port de Bejaia a été modélisé par un système de files d'attente par des étudiants de notre département en 1998 [16]. Les arrivées dans le système sont les navires. Ils se distinguent par leurs classes et les serveurs du système sont les postes à quai.

3.2.1 Description des arrivées

Classe des navires : Les navires sont regroupés par classes en fonction du type de marchandises qu'ils transportent. Ces classes sont réparties comme suit :

- C1 : Les navires car-ferries ;
- C2 : Les navires pétroliers ;
- C3 : Les navires gasoil-essence (carburants) ;
- C4 : Les navires bitumiers ;
- C5 : Les navires gaziers ;
- C6 : Les navires huiliers ;
- C7 : Les navires cargos .

A chaque classe correspond un ou plusieurs postes à quai (un quai comporte plusieurs postes) la ou l'accostage est possible. La répartition de ces classes sur les postes est la suivante :

- La classe des car-ferries (C1) accoste aux postes 8, 12 ou 13, exceptionnellement dans l'un des postes 9, 10 ou 11.
- La classe pétroliers (C2) accoste aux postes spécialisés 2 et 3 ;
- La classe des navires carburants (C3) accoste aux postes 1 et 19. En fait, ces navires passent par le poste 1 pour décharger le gazoil et passent ensuite au poste 19 pour décharger l'essence ;
- La classe des navires bitumiers (C4) accoste aux poste 19 ;
- La classe des navires gaziers (C5) accoste aux poste 26 ;
- La classe des navires huiliers (C6) accoste aux poste 24 ;
- La classe des Les navires cargos (C7) accoste dans tout les postes sauf aux postes 1,2 et3.

Les navires des classes (C2) à (C6) sont des navires spécialisés. L'affectation des classes de navires aux postes à quai est résumée dans le schéma suivant :

3.2.2 Discipline de service

La discipline de service est différente d'un serveur à un autre. Elle est pour chaque serveur comme suit :

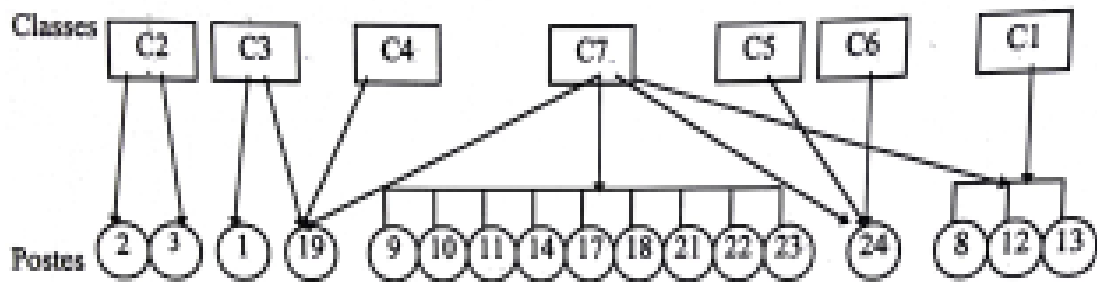


FIGURE 3.1 – L'affectation des navires aux postes à quai en 1998.

► pour le service "pilotage-remorquage" :

Le classement des priorités par classe et par ordre décroissant est le suivant :

- Priorité 1 pour la classe C1 ;
- Priorité 2 pour la classe C2 ;
- Priorité 3 pour la classe C3, C4, C5 et C6 ;
- Priorité 4 pour la classe C7.

Les classes C3, C4, C5 et C6 étant servies par ordre de leurs arrivées (FIFO).

► Pour le serveur "poste à quai" :

- Les postes 1, 2, 3 : les navires des classes traités par ces postes sont servis d'après une discipline de service FIFO ;
- Les postes 8, 12, 13 : dans ces postes les navires de la classe C1 sont plus prioritaires que ceux de la classe C7 (priorité absolue) ;
- Les postes (9, 10, 11), (14), (17, 18), (21, 22, 23) : Dans ces postes, les navires de la classe C7 sont servis suivant une discipline de service FIFO ;
- Le poste 19 : Il accueille trois classes de navires : C3, C4 et C7. La discipline de service entre C3 et C7 ou C4 et C7 est à priorité absolue. Les navires d'une même classe étant servis suivant une discipline FIFO ;
- Le poste 24 : Il accueille trois classes de navires : C5, C6 et C7. La discipline de service entre C5 et C7 ou C6 et C7 est à priorité absolue. Les navires d'une même classe étant servis suivant une discipline FIFO ;

Remarque :

Il convient de souligner qu'en réalité, la discipline FIFO entre les classes C7, C5 et C6 n'est pas toujours respectée et qu'elle dépend de la demande pour l'un des deux produits.

► **Services parallèles**

La topologie du port fait qu'il existe des postes rectilignes formant des quais. Il arrive que la longueur d'un navire soit trop grande pour un seul poste. Dans ce cas un navire peut occuper deux postes à la fois. En pratique, la longueur restante du deuxième poste est utilisée pour recevoir un autre navire. Il paraît donc, plus adapté de considérer les postes alignés comme seul serveur et les auteurs raisonnent alors en terme de quais plutôt que de postes. Dans ce cas, ils étaient face à des serveurs travaillant en parallèle. Dans la suite de leur travail, ils ont considéré les quais comme serveurs. Néanmoins les postes 1, 2 et 3 n'étant pas rectilignes, ils les garde comme postes.

3.2.3 Statistiques

Dans cette section nous donnerons les résultats statistiques obtenus par les auteurs.

Identification du flot des arrivées et la loi des durées de services

Les données statistiques fournis par le département informatique de l'EPB s'étalent sur une durée de deux ans. Les résultats obtenus sont portés sur le tableau suivant :

Variable	Lois	X^2 .calcul	X^2 .théor	Nbre de classe	KS.calcul	KS.théor	T.éch	Paramètre
X1	Poisson	9.96 / dl=5	11.07	8	0.28	0.04	787	1.86
X2	Exponentielle	4.51 / dl=5	11.07	7	0.017	0.017	1466	12.88
Poste1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Poste2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Poste3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Quai3	Exponentielle	10.98/dl=5	11.07	8	0.146	0.08	239	84.64
Quai4	Exponentielle	8.2/dl=5	11.07	7	0.086	0.125	108	153.11
Quai5	Exponentielle	3.2/dl=2	5.99	5	0.14	0.09	197	72.47
Quai6	Exponentielle	3.02/dl=5	7.81	7	0.176	0.138	31	263.68
Quai8	Exponentielle	10.9/dl=5	11.07	8	0.146	0.08	239	84.64
Quai9	Lognormale	10.78/dl=5	11.07	10	0.08	0.06	370	moy=106.96/var=104.16

TABLE 3.1 – Ajustement des arrivées et lois des durées de service.

3.2.4 Schéma du modèle 1998

Le modèle de files d'attente obtenu est un modèle avec un seul espace d'attente et un espace de service ayant 10 serveurs. 9 de ces serveurs sont des quais fonctionnant en parallèle, chacun fonctionnant en série par rapport au service pilotage-remorquage. Le processus des arrivées est poissonnien avec des clients de différentes classes. Le processus de service diffère d'un poste à l'autre. Il arrive qu'un client reboucle. En effet, il se peut que le service d'un navire soit interrompu pour le compte d'un autre navire suivant la règle de priorité attribuée. Ce navire fait un mouvement vers un autre poste si celui-ci est libre. Sinon, il est remis en rade en attendant qu'un poste soit libéré.

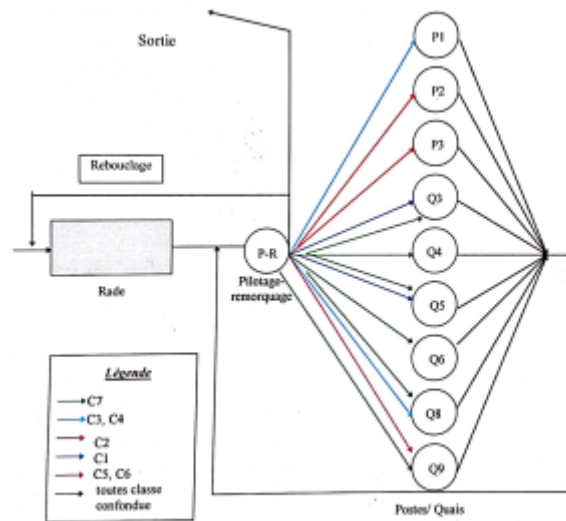


FIGURE 3.2 – Modilisation du parcours d'un navires en 1998.

3.3 Etude réalisée en 2012

3.3.1 Modélisation analytique du mouvements des navires

Le mouvement des navires au niveau du port de Bejaia a été modélisé par un système de file d'attente [23]. Dans ce système, les arrivées sont les navires qui se sont répartis en classes comme suit :

3.3.2 Description des arrivées

Classe des navires : Les navires sont regroupés en fonction du type de marchandises qu'ils transportent, ces classes sont réparties comme suit :

- C1 : Les navires car-ferries ;
- C2 : Les navires pétroliers ;
- C3 : Les navires gasoil-essence (carburants) ;
- C4 : Les navires gaziers ;
- C5 : Les navires bitumiers ;
- C6 : Les navires huiliers ;
- C7 : Les navires porte-conteneurs ;
- C8 : Les navires céréaliers ;
- C9 : Les navires RO/RO ;
- C10 : Les navires cargos.

Les serveurs du système sont les postes à quai.

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Nbr. Navires	57	72	300	63	30	109	450	296	165	1032
Fréquence	0.022	0.028	0.116	0.025	0.012	0.042	0.174	0.115	0.064	0.402
Fréquence cumulée	0.022	0.050	0.166	0.191	0.203	0.245	0.419	0.534	0.598	1

TABLE 3.2 – Fréquence des arrivées par classe.

A chaque classe correspond un ou plusieurs postes à quai (un quai comporte plusieurs postes) là où l'accostage est possible. La répartition de ces classes sur les postes est la suivante :

- La classe des car-ferries (C1) nécessite 3 postes pour accoster. Elle accoste au postes (10,11 et 12)ou (11 12 et 13) ;

- La classe des pétroliers (C2) accoste aux postes spécialisés 2, 3 et une station offshore SPM 90 pour les navires océaniques (les navires à grand tirant d'eau qui ne peuvent pas accéder aux postes 2 et 3). Le poste 3 n'étant pas fonctionnel à cause d'une panne dans les installations. Donc il n'est pas pris en considération dans cette étude.
- La classe (C3) accoste aux postes 1 et 19. En fait, ces navires passent par le poste 1 pour décharger le gasoil et passent ensuite au poste 19 pour décharger l'essence ;
- La classe des navires bitumiers (C4) accoste aux poste 19 ;
- La classe des navires gaziers (C5) accoste aux poste 24 et 26 ;
- La classe des navires huiliers (C6) accoste aux poste 24 et 26 ;
- La classe des navires porte-conteneurs (C7) accoste aux postes 22 et 23 qui sont réservés à l'entreprise BMT ;
- La classe des navires céréaliers (C8) se décompose en deux sous classes de navires :
 - Les céréaliers étatiques accoste aux poste 17 ;
 - Les céréaliers non étatiques accoste aux postes 14,15,16,17 et 21.
- La classe des navires RORO (C9) accoste aux postes 9,10,11,12,13,15,16 et le poste 18 ;
- La classe des navires cargo (C10) accoste aux postes 9,10,11,12,13,14,15,16,18,19,22,23 et le poste 24.

L'affectation des classes de navires aux postes à quai est résumés dans le schéma suivant :

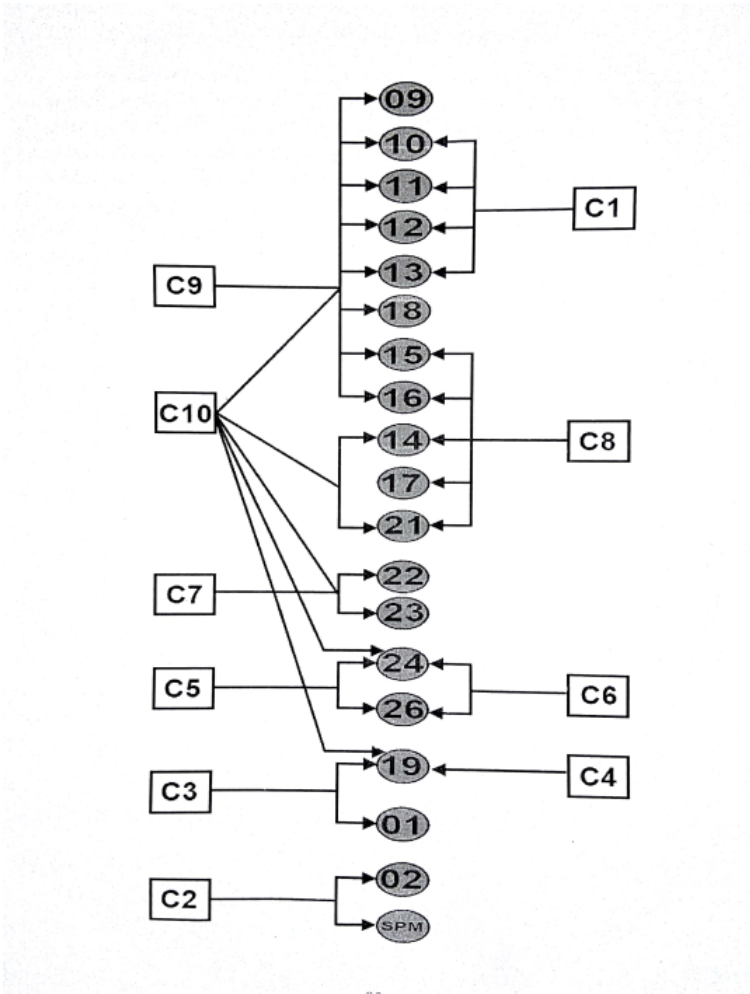


FIGURE 3.3 – Affectation des navires aux postes à quai en 2012

3.3.3 Discipline de service

La discipline de service est différente d'un serveur à un autre.

Le serveur pilotage-remorquage :

- Priorité 1 pour la classe C1 (car-ferries);
- Priorité 2 pour les navires qui ont quitté leurs postes;
- Priorité 3 pour les classes C2 (pétroliers), C3 (gasoil-essence), C4 (gaziers);
- Priorité 4 pour la classe C5 (bitumiers);
- Priorité 5 pour les navires de la classe C6, C7, C8, C9, C10.

Pour les serveurs postes à quai

- Pour les postes 1, 2, 3 et la station SPM 90, les navires sont servis d'après une discipline de service FIFO;
- Le poste 1 qui se trouve sur l'appontement 1 est un poste spécialisé ne pouvant accueillir que des navires transportant des produits raffinés tels que le gasoil et les navires mixtes (navires de classe C3);
- Le poste (9,18) qui se trouvent respectivement sur le quai nord-ouest, le quai de la gare (quais 4 et 8) sont des poste non spécialisés. Ils accueillent des navires de classes C9 (RO-RO) et C10 (cargo) la priorité quasi inexistante entre ces classes;
- les postes (10,11) et (12,13) qui se trouvent respectivement sur les quais (nord-ouest et la casbah) (quais 4 et 5) sont des poste non spécialisés. Ils accueillent des navires de classe C1 (car-ferries) et de classe C9 (RORO) et C10 (cargo). La priorité est donnée à la classe C1;
- Le poste 14, qui se trouve sur le quai de la passe, le quai sud-ouest et le quai de la gare (quais 6) est un poste non spécialisé. Il accueille des navires de classe C10 (cargo) ou les navires de classe C8 (les petits céréaliers non étatiques). La priorité absolue est donnée à la classe C8 lorsque il existe un poste libre pouvant accueillir le navire de classe C10 (cargo);
- Les postes (15 ,16) qui se trouvent sur le quai sud-ouest (quais T) sont des postes non spécialisés. Ils accueillent des navires de classe C8 (les céréaliers non étatiques), C9 (RORO) et C10 (cargo) la priorité est donnée aux :
 - Gros céréaliers non étatiques de classe C8 qui occupent les postes (15 et 16) lorsque les navires de la classe C8 (les petits céréaliers non étatiques), C9 (RORO) ou C10 (cargos) pouvant se déplacer vers des postes libres pouvant les accueillir;

- Petits céréaliers non étatiques de classe C8 lorsque les navires de la classe C9(RORO) ou C10(cargo) peuvent se déplacer vers des postes libres pouvant les accueillir.
- Le poste 17 qui se trouve sur le quai de la gare (quais 8) est un poste spécialisé. Il accueille des navires de classe C8. Il est réservé aux céréaliers étatiques (qui transportent le blé). La priorité absolue est donnée aux céréaliers étatiques ;
- Le poste 19 qui se trouve sur le quai 8 possède des installations spécialisées pour accueillir les navires de la classe C3 (navires carburants transportant de l'essence), ainsi que les navires de classe C5 (bitumier) et les navires de la classe C10 (cargo) ;
- Le poste 21 qui se trouve sur le nouveau quai (quai 9) est un poste non spécialisé, il accueille les navires de classe C8 (les céréaliers non étatiques) et les navires de la classe C10 (cargo). la priorité absolue est donné a la classe C8 lorsqu'il existe un poste libre pouvant accueillir le navire de classe C10 (cargo) ;
- Les postes 22 et 23 qui se trouvent sur le quai 9 possède une installation spécialisée(portique). Ils accueillent des navires de classe C7 (porte-conteneurs) ou de classe C10 (cargo). La priorité est donnée à la classe C7 ;
- Le poste 24 qui se trouve sur le nouveau quai (quai 9) possède une installation spécialisée pour accueillir les navires de la classe C4 (gaziers) et une autre pour accueillir des navires de classe C6(huiliers), comme il accueille aussi des navires de la classe C10 ;
- Le poste 26 possède une installation spécialisée pour accueillir les navires de classe C4 (gaziers) et une autre pour accueillir des navires de classe C6 (huiliers).

Remarque :

La priorité d'accostage aux poste n'est pas toujours respecté lorsque il'y a des enjeux économiques,...etc. La décision revient donc au directeur de la capitainerie.

3.3.4 L'étude statistique

Identification du flot des arrivées et la loi des durées de services

les données statistiques ont été fournis par le département informatique de l'EPB s'étalent sur une durée de deux ans. Les résultats obtenus sont portés sur le tableau suivant :

Paramètre	Lois	Paramètre
T	Exponentielle	419.2427

TABLE 3.3 – Lois des inter-arrivées

Car-ferries :

Postes	Lois	Paramètre
10,11,12,13	Exponentielle	$1.3785e^3$

TABLE 3.4 – Lois des durées de service des Car-ferries.

Pétroliers :

Postes	Lois	Paramètre
02	Exponentielle	$1.955e^3$
SPM90	Exponentielle	$1.976e^3$

TABLE 3.5 – Lois des durées de service des Pétroliers.

Carburant :

Types de bateaux	Postes	Lois	Paramètre
Essence	19	Exponentielle	$1.8707e^3$
Gasoil	01	Exponentielle	$2.697e^3$
Mixte :Essence	19	Exponentielle	$1.883e^3$
Mixte :Gasoil	01	Exponentielle	$2.8004e^3$

TABLE 3.6 – Lois des durées de service de navires Carburants.

Gaziers :

Postes	Lois	Paramètre
24,26	Exponentielle	$3.533e^3$

TABLE 3.7 – Lois des durées de service des Gaziers.

Bitumiers :

Postes	Lois	Paramètre
19	Exponentielle	$1.775e^3$

TABLE 3.8 – Lois des durées de service des Bitumiers.

Huiliers :

Postes	Lois	Paramètre
24,26	Exponentielle	$2.4535e^3$

TABLE 3.9 – Lois des durées de service des Huiliers.

Portes-conteneurs :

Postes	Lois	Paramètre
22	Exponentielle	$2.3027e^3$
23	Exponentielle	$2.3623e^3$

TABLE 3.10 – Lois des durées de service des Portes-conteneurs .

Céréaliers :

Types de bateaux	Postes	Lois	Paramètre
Étatique	17	Exponentielle	$13.424e^3$
Non Étatique	14	Exponentielle	$9.898e^3$
	15	Exponentielle	$6.3816e^3$
	16	Exponentielle	$6.049e^3$
	17	Exponentielle	$9.111e^3$
	21	Exponentielle	$10.293e^3$

TABLE 3.11 – Lois des durées de service des navires Céréaliers.

RORO

Postes	Lois	Paramètre
09	Exponentielle	$1.908e^3$
10	Exponentielle	$1.893e^3$
11	Exponentielle	$1.8233e^3$
12	Exponentielle	$1.8579e^3$
13	Exponentielle	$1.9368e^3$
15	Exponentielle	$1.9086e^3$
16	Exponentielle	$1.986e^3$
18	Exponentielle	$1.8923e^3$

TABLE 3.12 – Lois des durées de service des RORO.

Cargo :

Postes	Lois	Paramètre
09	Exponentielle	$4.611e^3$
10	Exponentielle	$4.890e^3$
11	Exponentielle	$5.7922e^3$
12	Exponentielle	$5.3210e^3$
13	Exponentielle	$5.0626e^3$
14	Exponentielle	$5.8361e^3$
15	Exponentielle	$5.2663e^3$
16	Exponentielle	$5.0439e^3$
18	Exponentielle	$5.5535e^3$
19	Exponentielle	$3.8084e^3$
21	Exponentielle	$4.0306e^3$
22	Exponentielle	$4.9788e^3$
23	Exponentielle	$5.1706e^3$
24	Exponentielle	$4.0215e^3$

TABLE 3.13 – Lois des durées de service des Cargo.

Pour le service pilotage-remorquage :

Ce sont deux sections opérationnelles qui fonctionnent en même temps. Au cours de l'étude réalisé en 2012, les services pilotage-remorquage ont été considérés comme un seul serveur. Il existe

3 types de remorquage :

- En entrée (déplacement d'un navire de rade vers un poste) ;
- En sortie (déplacement d'un navire de poste vers la rade) ;
- En mouvement (déplacement d'un navire d'un poste vers un autre).

Par manque de données, ils n'ont pas pu définir les lois de la durée de service. Cependant, la moyenne de service du pilotage-remorquage a été donnée par les officiers du port, en effet, ils ont pris les moyennes des types de mouvement : 30minutes/navire.

3.3.5 Schéma du modèle établi 2012

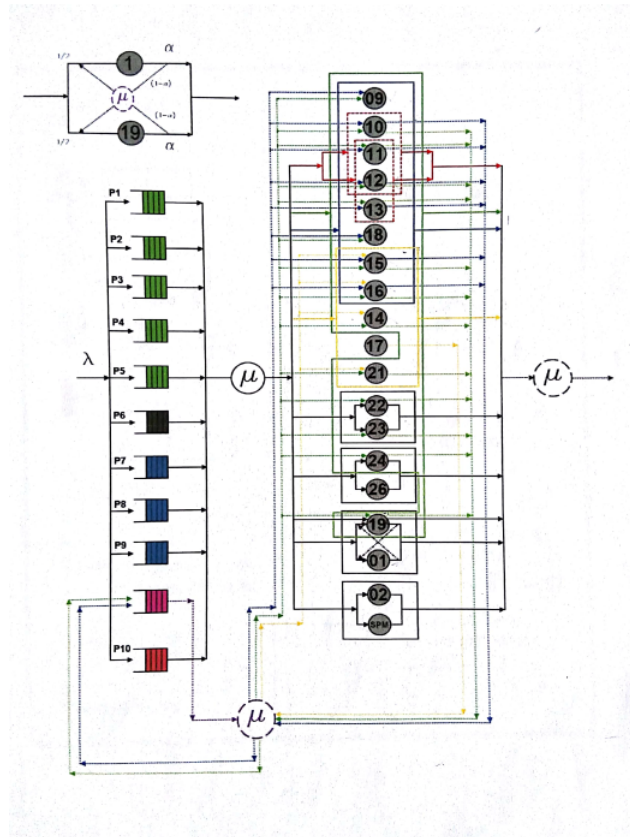


FIGURE 3.4 – Modélisation du parcours d'un navire en 2012

3.4 Pourquoi une nouvelle étude ?

Après avoir effectué notre stage au sein du département de la capitainerie, nous avons constaté que le modèle mathématique conçu en 2012 était loin de représenter le fonctionnement actuel du port de Bejaia pour les causes suivantes :

- La création de trois nouvelles directions (la direction remorquage DR, la direction systèmes d'information et la direction zones logistiques extra-portuaire) ;
- La réhabilitation des postes à quai n°17,18 19, 21 et 22 ;
- La libération de plus de 20 000 m^2 de terre-pleins au niveau des postes 6,7 et 8 ;
- Réalisation du poste 25 ;(en cours)
- Aménagement d'un poste d'accostage RO/RO spécialisé pour car-ferries ;
- Réalisation d'une gare maritime ;

- Réalisation de la nouvelle clôture du port ;
- Réhabilitation des postes 1, 2 et 3 du port pétrolier.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné en premier lieu, la description et l'analyse du mouvement de la navigation qui a été faite en 1998. En second lieu, nous avons donné la modélisation et l'analyse du mouvements des navires au niveau de l'EPB qui ont été faites en 2012. En effet, cette analyse montre que l'obtention des résultats est compliquée. Ce qui nous a motivés à faire une nouvelle modélisation et analyse en utilisant un autre formalisme qui est les réseaux de Petri.

CHAPITRE 4

MODÉLISATION DU MOUVEMENT DES NAVIRES AU NIVEAU DE L'EPB

Introduction

Durant ces dernières années, un effort considérable a été consacré par beaucoup de chercheurs à la modélisation et à l'évaluation des performances des mouvements des navires afin d'atteindre un optimum de fonctionnalité. Dans ce chapitre, nous proposons en premier lieu une modélisation du mouvement de la navigation au niveau du port de Bejaia (EPB) en utilisant les deux approches : les réseaux de files d'attente et les réseaux de Petri qui semblent être les plus adaptés à cette situation. En second lieu, nous allons utiliser les résultats du traitement statistique afin d'évaluer les performances du modèle obtenu.

4.1 Modélisation et évaluation des performances du mouvement des navires au niveau de l'EPB

4.1.1 Description des arrivées

Classe des navires

Les navires sont regroupés en fonction du type de marchandises qu'ils transportent ; ces classes sont réparties comme suit :

- ★ C1 : Les navires car-ferries ;
- ★ C2 : Les navires pétroliers ;

- ★ C3 : Les navires gasoil-essence (carburants) ;
- ★ C4 : Les navires bitumiers ;
- ★ C5 : Les navires gaziers ;
- ★ C6 : Les navires huiliers ;
- ★ C7 : Les navires porte-conteneurs ;
- ★ C8 : Les navires céréaliers ;
- ★ C9 : Les navires RO-RO ;
- ★ C10 : Les navires cargos ;
- ★ C11 : Les navires sucriers.

Les fréquences des arrivées de chaque classe pendant deux ans sont données dans le tableau suivant :

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Nbr. Navires	27	298	452	64	106	220	673	539	244	1730	78
Fréquence	0.0060	0.0672	0.1020	0.0144	0.0239	0.0496	0.1518	0.1216	0.0550	0.3904	0.0176
Fréquence cumulées	0.0060	0.0732	0.1752	0.1896	0.2135	0.2631	0.4149	0.5365	0.5915	0.9819	1

TABLE 4.1 – Fréquence des arrivées par classe.

À chaque classe correspond un ou plusieurs postes à quai (un quai comporte plusieurs postes) là où l'accostage est possible. La répartition de ces classes sur les postes est la suivante :

- ★ La classe des car-ferries (C1) nécessite 2 postes pour accoster. Ils accostent aux postes (8,9), (10,11) ;
- ★ La classe des pétroliers (C2) accoste aux postes spécialisés 2, 3 et à une station offshore SPM 90 pour les navires océaniques (les navires à grand tirant d'eau qui ne peuvent pas accéder aux postes 2 et 3) ;
- ★ La classe des navires carburant (C3) est composée de 3 sous classes de navires :
 - a) Les navires gasoil accostent au poste 1 ;
 - b) Les navires essence accostent au poste 19 ;
 - c) Les navires mixtes (gasoil/essence). Ces navires transportent du gasoil et de l'essence. Ils accostent au poste 1 pour décharger le gasoil. Ensuite, au poste 19 pour décharger l'essence.

Le poste 1 n'étant pas fonctionnel à cause des travaux de rénovation. Donc, les navires carburant déchargent le gasoil et l'essence au poste 19.

- ★ La classe des navires bitumiers (C4) accoste seulement au poste 19 ;
- ★ La classe des navires gaziers (C5) accoste seulement au poste 26 ;

- ★ La classe des navires huiliers (C6) accostent aux postes 24 et 26 ;
- ★ La classe des navires porte-conteneurs (C7) accoste aux postes 22 et 23 qui sont réservés à l'entreprise BMT ou aux postes 11, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 21 et 24 ;
- ★ La classe des navires céréaliers (C8) accoste aux postes (10, 11), (12, 13), 14, (15, 16), 17, 18, 21, 22, 24 et 26 ;
- ★ La classe des navires RORO (C9) accoste aux postes 8, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18 et 19 ;
- ★ La classe des navires cargos (C10) accoste aux postes 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24 et 26 ;
- La classe des navires ucre (C11) accoste seulement au poste 24.

L'affectation des classes de navires aux postes à quai est résumé dans la Figure 4.1.

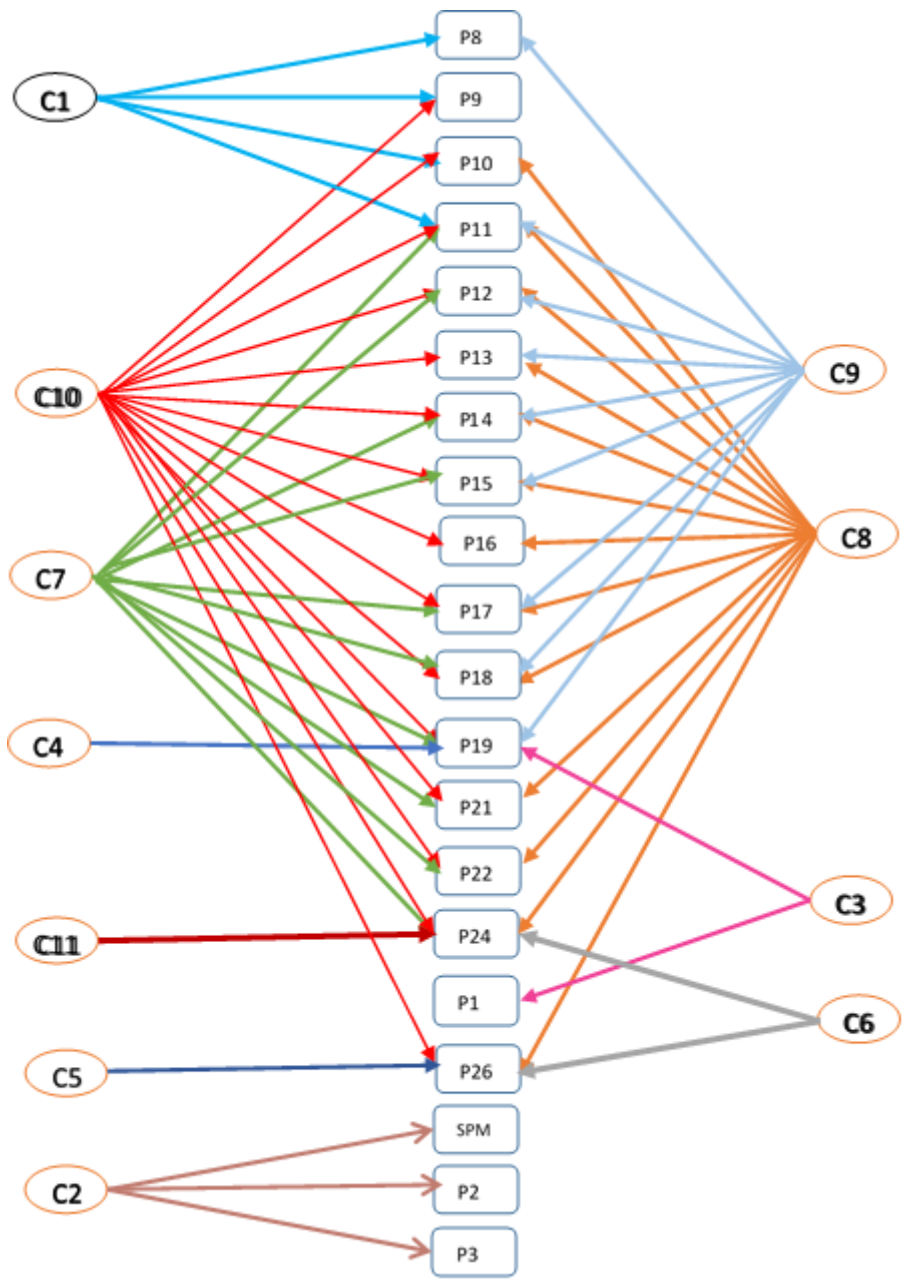


FIGURE 4.1 – L'affectation des classes de navires

4.1.2 Identification du flot des arrivées

Les données utilisées pour identifier le flot des arrivées ont été fournies par le département informatique de l'EPB. Elles s'étalent sur une période de deux années, soit du 1 janvier 2016 au 31 décembre 2017, et concernant les dates, heures et minutes de mouillage des navires. Le nombre des arrivées en rade par jour et l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives toutes classes confondues, notés respectivement X_1 et X_2 , et sont calculés comme suit :

- X_1 : représente le nombre de navires arrivés à une date donnée. Elle est calculée à partir des dates de mouillage des navires.
- X_2 : représente l'intervalle de temps en heure séparant deux arrivées successives. Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$F = [(DM_j) - (DM_{j-1})] * 24 + (HM_j) - (HM_{j-1}) + [(MM_j) - (MM_{j-1})]/60.$$

Avec :

DM_j : Date de mouillage du j^{me} navire.

DM_j : Heure de mouillage du j^{me} navire.

MM_j : Minute de mouillage du j^{me} navire.

A l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov nous avons ajusté la variable des arrivées. Les résultats sont reportés sur le tableau suivant :

Variable	Lois	KS calculé	KS théorique	Taille de l'échantillon	Paramètre
X_1	Normal	0,17903	0,37543	12	$\sigma=48,388 ; \mu=246,5$
X_2	exponentielle	0,03198	0,03836	1803	0,04748

TABLE 4.2 – Les lois des arrivées.

Interprétation des résultats :

★ A partir du test fait sous le logiciel R, nous avons obtenus $D = 0.03198$, de la table de Kolmogorov-Smirnov nous avons tirés $D_{(n,\alpha)} = 0.03836$ pour $\alpha = 5\%$ et $n = 1803$. On a $D < D_{(n,\alpha)}$ alors le test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov valide l'hypothèse que $X_2 \curvearrowright \exp_{(\lambda=0.04748)}$.

★ A partir du test fait sous le logiciel R, nous avons obtenus $D = 0.17903$, de la table de Kolmogorov-Smirnov nous avons tirés $D_{(n,\alpha)} = 0.37542$ pour $\alpha = 5\%$ et $n = 12$. On a $D < D_{(n,\alpha)}$, alors le test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov valide l'hypothèse que $X_1 \curvearrowright N_{(\sigma=48.388;\mu=246.5)}$.

Les Figures 4.20 et 4.21 représente l'histogramme et la courbe de la loi de X_1 et X_2 (Voir Annexe1).

4.2 Description des services

4.2.1 Types de services

Le système est caractérisé par deux types de services : le pilotage-remorquage et le poste à quai.

Le service pilotage-remorquage : tous les navires passent par ce service à l'entrée, à la sortie et éventuellement lors d'un mouvement. Leurs accès à ce service dépend de leurs priorités au service.

Le service poste à quai : les postes sont au nombre de 24 répartis sur 9 quais, plus la station SPM/Sea-line (poste 90). À l'heure actuelle, 19 postes à quais, plus la station SPM/Sea-line. Il existe 3 postes à quais.

- ★ Ceux qui sont strictement spécialisés, ne pouvant accueillir qu'une seule classe de navires. Ces postes sont réservés aux produits raffinés et un pétrole brut et aux condensats 1, 2, 3 et la station 90 pour les grands navires ;
- ★ Ceux qui ont des installations spécialisés pouvant accueillir une certaine classe de navires, avec une possibilité d'accueillir des navires d'autres classes. Ces postes sont les postes 17, 19, 22, 23, 24 et 26 ;
- ★ Ceux qui ne sont pas spécialisés accueillent les navires cargos, RO/RO, céréaliers, navires sucre et les car-ferries.

L'accès aux postes dépend de la spécialisation, du tirant d'eau, de la longueur du navire et du poste.

4.2.2 Discipline de service

La discipline de service est différente d'un serveur à un autre.

Le service pilotage-remorquage :

- ★ Priorité 1 pour la classe C1 (car-ferries) ;
- ★ Priorité 2 pour les navires qui ont quitté leurs postes ;
- ★ Priorité 3 pour les classes C2 (pétroliers), C3 (gasoil-essence), C5 (gaziers) ;
- ★ Priorité 4 pour la classe C4 (bitumiers) ;
- ★ Priorité 5 pour les navires de la classe C6, C7, C8, C9, C10 et C11.

Les services postes à quais :

La spécialisation de chaque poste et la classe des navires qui y sont traités sont présentés dans ce qui suit :

- ★ Pour les postes 1, 2, 3 et la station SPM 90. Les navires sont servis d'après une discipline de service FIFO ;
- ★ Le poste 1 qui se trouve sur l'appontement 1 est un poste spécialisé ne pouvant accueillir que des navires transportant des produits raffinés tels que le gasoil et les navires mixtes (navires de classe C3) ;
- ★ Les postes 2 et 3 qui se trouvent sur l'appontement 2 et la station SPM 90 située au large sont des postes très spécialisés. Ils sont à usage unique, strictement réservés au traitement des navires de classe C2 transportant du pétrole brut et du condensat ;
- ★ Les postes 6 et 7 qui se trouvent sur le quai nord (quai 2) sont des postes non spécialisés. Ces postes sont réservés pour les remorqueurs et la marine nationale ;
- ★ Le poste 8 qui se trouve sur le quai central (quai 3) est un poste spécialisé pour les navires voyageurs. Il accueille des navires de classe C1 (car-ferries) ou de la classe C9 (RO-RO) en cas de nécessité ;
- ★ Le poste 9 qui se trouve sur le quai central (quai3) est un poste spécialisé pour les navires de classe C1 (car-ferries), les navires de classe C9 (RO/RO) ou les navires de classe C10 (cargo) ;
- ★ Le poste 10 est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C1 (car-ferries), les navires de la classe C8 (céréaliers de 7m de tirant d'eau) ou de la classe C10 (Cargos) ;
- ★ Le poste 11 qui se trouve sur le quai nord-ouest est un poste non spécialisé. Il accueille des navires de classe C1 (car-ferries), les navires de la classe C7 (porte-conteneurs), C9 (RO/RO) ou C10 (cargos) ;
- ★ Le poste 12 qui se trouve sur le quai 4 est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C8 (céréaliers), les navires de la classe C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
- ★ Le poste 13 qui se trouve sur le quai 5 est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C8 (céréaliers), les navires de la classes C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
- ★ Le poste 14 qui se trouve sur le quai de la passe, le quai sud-ouest et le quai de la gare (quai 6) est un poste non spécialisé. Il accueille des navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C8 (céréaliers), les navires de la classe C9 (RO/RO) ou les navires de la

- classe C10 (cargos) ;
- ★ Le poste 15 qui se trouve sur le quai sud-ouest, est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C8 (céréaliers), les navires de la classe C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (Cargos) ;
 - ★ Le poste 16 qui se trouve sur le quai 7, est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C8 (céréaliers) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
 - ★ Le poste 17 qui se trouve sur le quai de la gare (quai 8) est un poste spécialisé. Il accueille les navires de la classe C8 (céréaliers), il est réservé aux céréaliers étatiques (qui transportent le blé). Il accueille aussi les navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (cargos). La priorité absolue est donné aux céréaliers étatiques ;
 - ★ Le poste 18 qui se trouve sur le quai de la gare (quai 8) est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
 - ★ Le poste 19 qui se trouve sur le quai 8 possède des installations spécialisées pour accueillir les navires de la classe C3 (carburants), ainsi que les navires de la classe C4 (bitumier). Il accueille aussi des navires de la classe C7 (porte-conteneurs), C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
 - ★ Le poste 20 qui se trouve sur le nouveau quai (quai 9) est un poste occupé par un dock flottant, géré par l'Entreprise de Réparation Navale (ERENAV) ;
 - ★ Le poste 21 qui se trouve sur le quai 9, est un poste non spécialisé. Il accueille les navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C8 (céréaliers), les navires de la classe C10 (cargos) ;
 - ★ Le poste 22 qui se trouve sur le quai 9 possède une installation spécialisée (portique). Il accueille les navires de la classe C7 (porte-conteneurs) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
 - ★ Le poste 23 qui se trouve sur le quai 9 possède aussi une installation spécialisée (portique). Il accueille les navires de la classe C7 (porte-conteneurs) ou les navires de la classe C10 (cargos) ;
 - ★ Le poste 24 qui se trouve sur le quai 9 est un poste non spécialisé. Il possède une installation spécialisée pour accueillir des navires de classe C6 (huiliers), comme il accueille aussi des navires de la classe C7 (porte-conteneurs), les navires de la classe C8 (céréaliers), les navires de la classe C10 (cargos) ou les navires de la classe C11 (navires sucre) ;
 - ★ Le poste 26 possède une installation spécialisée pour accueillir les navires de la classe C5

(gaziers) et une installation pour accueillir des navires de la classe C6 (huiliers), les navires de la classe C8 (céréaliers) ou les navires de la classe C10 (cargos).

Remarques :

- ★ Les postes (4,5) et 20 sont respectivement des postes de l'E.G.P.P (Entreprise des Gestion des Ports de Pêche) et de l'entreprise de Réparation Navale. Ils ne seront pas donc pris en considération.
- ★ Les postes qui ne sont pas opérationnels sont écartés de cette étude ;
- ★ La priorité d'accostage aux postes n'est toujours pas respecté lorsqu'il y'a des enjeux économiques. La décision revient donc au directeur de la capitainerie.

4.2.3 Identification des lois de service

Les lois des durées de services de chaque poste, pour toutes les classes confondues, ont été calculées à partir des données qui nous ont été transmises par le département informatique de l'E.P.B. Elles sont :

Pour les postes à quai

Les durées de service en heures dans chaque poste à quai pour chaque navire sont calculées à partir de la formule suivante :

$$F = (Date_{sor} - Date_{ent})_j * 24 + (Heure_{sor} - Heure_{ent})_j + (Minutes_{sor} - Minutes_{ent})_j / 60.$$

Avec :

$Date_{sor}$: Date de sortie du navire j ;

$Date_{ent}$: Date d'entrée du navire j ;

$Heure_{sor}$: Heure de sortie du navire j ;

$Heure_{ent}$: Heure d'entrée du navire j ;

$Minutes_{sor}$: Minute de sortie du navire j ;

$Minutes_{ent}$: Minute d'entrée du navire j.

Les lois des durées de service sont ajustées à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Les résultats obtenus sont reportés sur la Table 4.3 :

Variable	Lois	KS calculé	KS théorique	Taille de l'échantillon	Paramètres
Poste 1	Weibull	0.155	0.159	145	a=1.75 ; b=61.69
Poste 2	Lognormal	0,15591	0,16526	82	m=0,15887 ; var=3,3573
Poste 3	Frechet	0,14743	0,15061	99	$\alpha=2,7125$; $\beta=33,591$
SPM/90	Weibull	0,2381	0,30143	17	a=0,2381 ; b=0,2381
Poste 8	Weibull	0.138	0.158	73	a=1.41 ; b=72.37
Poste 11	Exponentielle	0.074	0.096	199	$\lambda=0.0129$
Poste 12	Weibull	0.046	0.102	176	a=1.51 ; b=119.69
Poste 13	Weibull	0.075	0.121	125	a=1.416 ; b=77.04
Poste 14	Weibull	0.063	0.097	195	a=1.669 ; b=102.12
Poste 15	Weibull	0.079	0.126	116	a=1.61 ; b=198.33
Poste 16	Exponentielle	0.118	0.198	45	$\lambda=0.007$
Poste 17	Gamma	0,12219	0,13513	101	$\alpha=2,7469$; $\beta=67,021$
Poste 18	Weibull	0.074	0.092	217	a=1.61 ; b=83.44
Poste 19	Weibull	0.108	0.11	310	a=1.63 ; b=61.06
Poste 21	Weibull	0.07	0.099	186	a=1.86 ; b=181.23
Poste 22	Weibull	0,09036	0,11467	325	a=2,5044 ; b=66,993
Poste 24	Lognormale	0.087	0.099	186	m=4.357 ; var=0.64
Poste 26	Lognormale	0.15	0.158	206	m=3.98 ; var=0.51

TABLE 4.3 – Ajustement des lois de durée de service.

Interprétations des résultats :

Le test de Kolmogorov-Smirnov valide :

- ★ Les ajustements des lois des durées de service des postes à quai 1, 8, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 22 et SPM/90 par celle de la loi de Weibull ;
- ★ Les ajustements des lois des durées de service des postes à quai 2, 24 et 26 par celle de la loi Lognormale ;
- ★ L'ajustement de la loi de durée de service du poste 3 par celle de la loi Frechet de paramètre $\alpha=2,7125$ et $\beta=33,591$;
- ★ L'ajustement des lois de durées de service des postes à quai 11 et 16 par celle de la loi Exponentielle ;
- ★ L'ajustement de la loi de durée de service du poste à quai 17 par celle de la loi Gamma de paramètre $\alpha=2,7469$; $\beta=67,021$.

Les Figures 4.22 à 4.38 représentent les différents histogrammes et courbe de la loi de durée de service pour chaque poste (Voir Annexe 2).

Le service pilotage-remorquage :

Ce sont deux sections opérationnelles qui fonctionnent en même temps. Nous allons les considérer comme un seul service dans notre étude. Par manque de données, nous n'avons pas pu définir les lois de sa durée de service. Cependant, les temps moyens de service du pilotage-remorquage sont :

- ★ En entrée : en moyenne 1.22 heures/navire ;
- ★ En sortie : 1 heure/navire ;
- ★ En mouvement : 1 heure/navire.

Puisque on ne connaît que la durée moyenne de service, alors selon le principe d'entropie, on peut traiter la loi de service comme étant une loi exponentielle (voir Kapur and Kesavanhr [22]).

4.3 La modélisation du mouvement de la navigation via les réseaux de Petri (RdP)

Compte tenu de la description donnée dans la section précédente, la présence du partage de ressources ainsi que le parallélisme et la complexité du processus étudié, nous a conduit à faire appel aux RdP pour une évaluation adéquate et valide des différents indices de performances. Pour ce faire, le module Petri Net V12 du logiciel GRIF a été mis à profit (Voir Annexe 3). Dans la suite de ce chapitre, nous allons évaluer les indices de performances du mouvement des navires au sein de l'EPB et cela en faisant varier plusieurs paramètres

4.3.1 La modélisation du parcours d'un navire avec réseaux de Petri.

Dans cette section, nous allons détailler le parcours de chaque type de navire via les RdP. Vu la complexité du modèle étudié, nous avons décomposé le réseau de Petri obtenu pour mieux expliquer notre modélisation.

- ★ Le transition Tr_1 dans les Figures 4.2 à 4.12 représente l'arrivée des navires ;
- ★ La place Pl_1 dans les Figures 4.2 à 4.12 concerne l'attente en rade des navires arrivés ;
- ★ Les places Pl_2, Pl_3 représente respectivement les poste à quai 2 et 3 ;
- ★ Les places $Pl_8, Pl_{11}, Pl_{12}, Pl_{13}, Pl_{14}, Pl_{15}, Pl_{16}, Pl_{17}, Pl_{18}, Pl_{19}, Pl_{21}, Pl_{22}, Pl_{24}$ et Pl_{26} représente respectivement les postes 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24 et 26.

Modélisation du parcours d'un car-ferry

La Figure 4.2 représente le parcours d'un car-ferry de son entrée à sa sortie du port de Bejaia via les RdP.

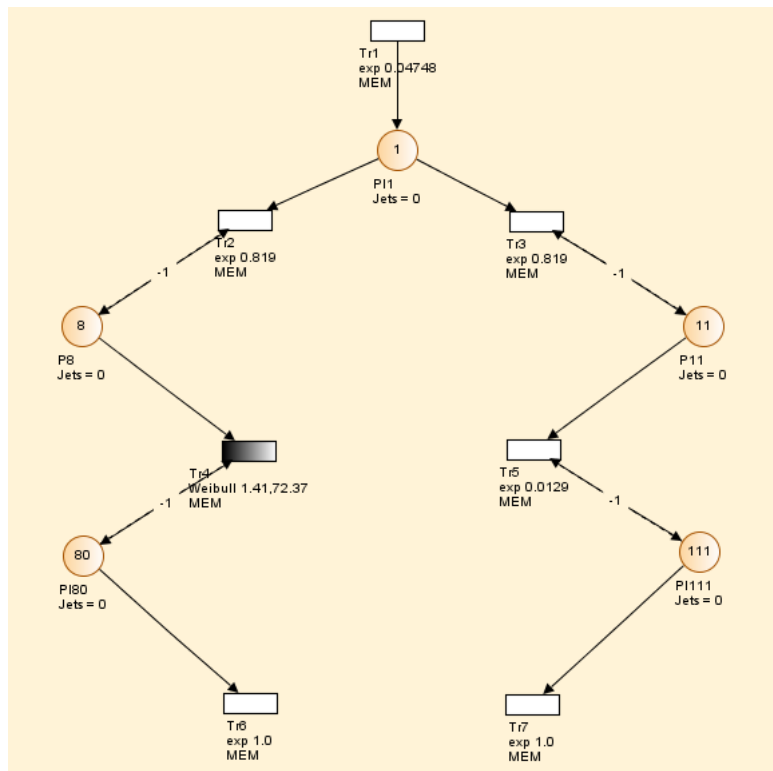


FIGURE 4.2 – Parcours d'un car-ferry via les RdP.

- ★ Les transitions Tr_4 et Tr_5 représente le service poste à quai (chargement ou déchargement de la marchandise) ;

- ★ La place Pl_4 représente le poste 8 ;
- ★ La place Pl_5 représente le poste 11 ;
- ★ Le franchissement de la transition Tr_2 ou Tr_3 indique l'accostage d'un navire de classe C1 (Car-ferries) aux postes 8 ou 11.
- ★ La présence d'un jeton dans les places Pl_8 ou Pl_{11} indique que les transitions T_4 ou T_5 peuvent être franchis ;
- ★ La présence d'un jeton dans la place Pl_4 (resp. Pl_5) indique que le navire a terminé son service et que la transition Tr_6 (resp. Tr_7) peut être franchi ce qui veut dire que le navire est prêt à quitter le port.

Modélisation du parcours d'un pétrolier

La Figure 4.3 suivante représente le parcours d'un navire de classe C2 (Pétrolier).

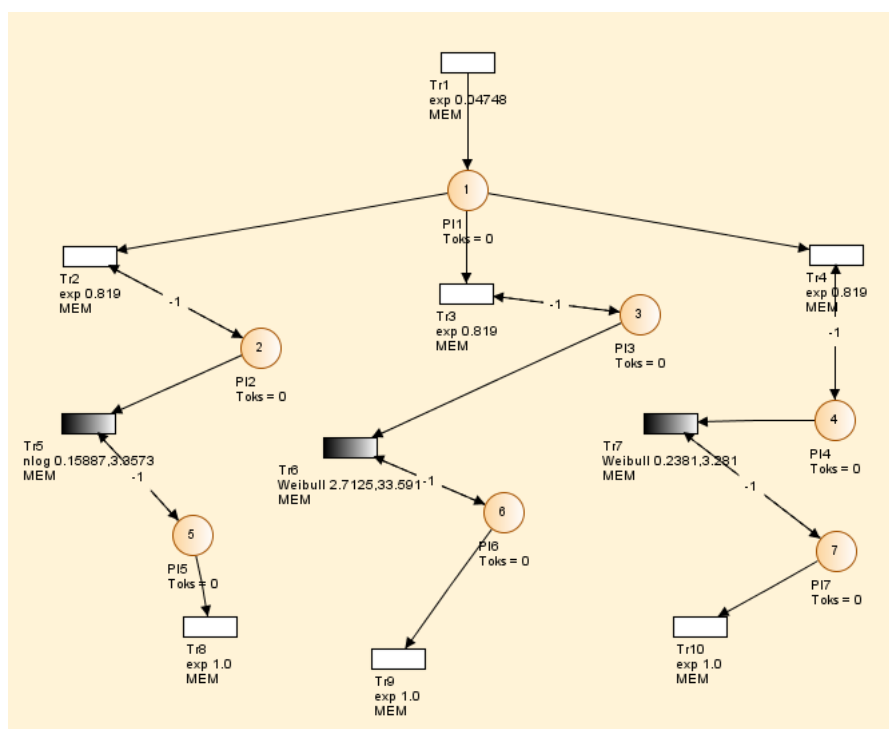


FIGURE 4.3 – Parcours d'un pétrolier via les RdP.

- ★ La présence d'un jeton dans la place Pl_1 indique qu'un navire pétrolier est dans la rade (la transition Tr_1 a été franchie) ;
- ★ Les transitions Tr_2 , Tr_3 et Tr_4 représente le service Pilotage-remorquage ;
- ★ A la présence d'un jeton dans la place Pl_1 , on a :
 - Si $TE < 12.5 m$, alors la transition Tr_2 ou Tr_3 sera franchie, sinon la transition Tr_4 le

sera.

- ★ La transition Tr_5 sera franchie à la présence d'un jeton dans la place Pl_2 indique qu'un pétrolier peut charger ou décharger au poste 2. La présence d'un jeton dans la place Pl_5 indique que la transition Tr_8 peut être franchie. C'est la même chose pour les transitions Tr_6 et Tr_7 .

Modélisation du parcours d'un navire bitumier ou carburant

Le parcours d'un bitumier est le même que celui des carburants.

La Figure 4.4 représente la modélisation du parcours d'un bitumier via les RdP.

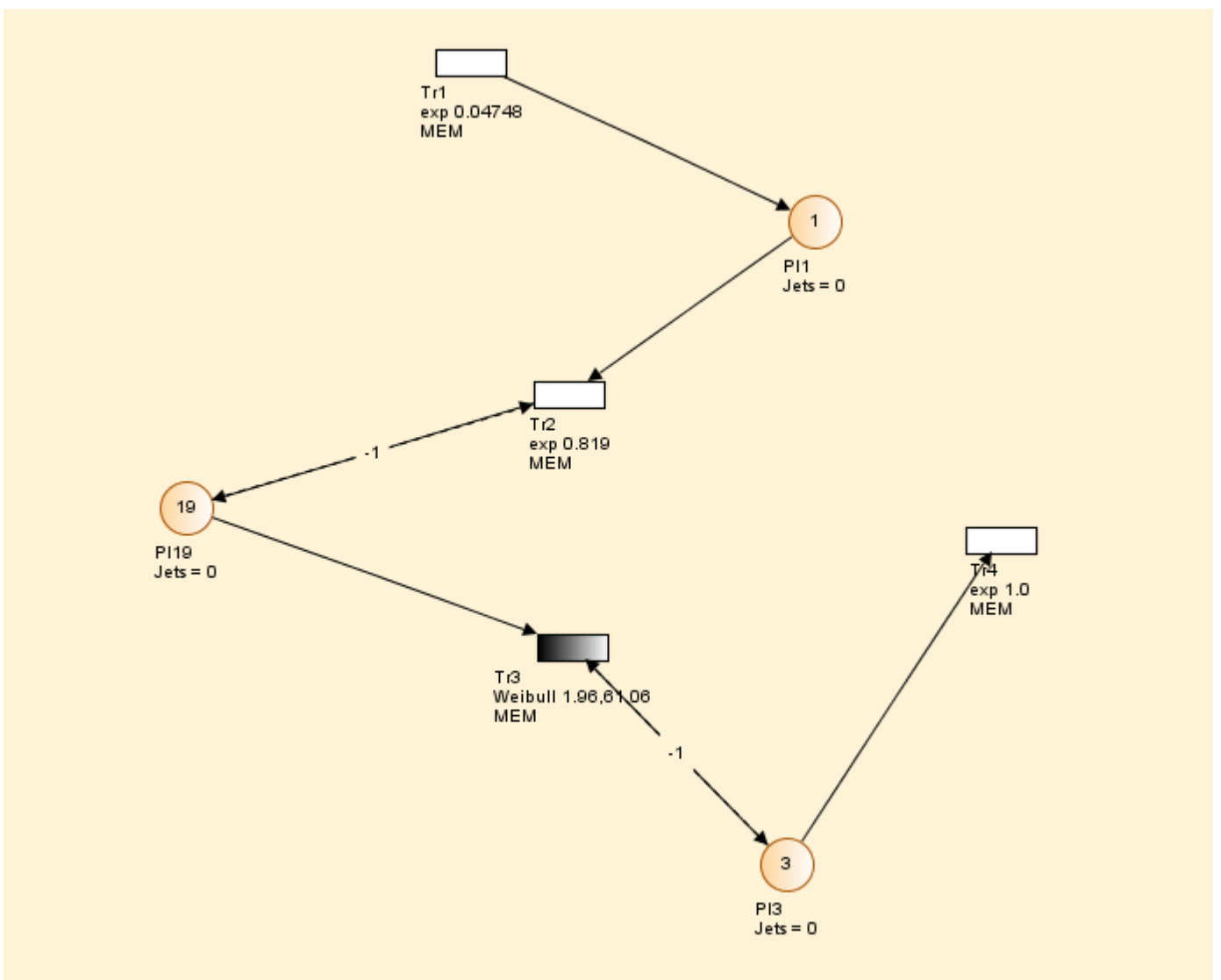


FIGURE 4.4 – Parcours d'un bitumier ou carburant via les RdP.

- ★ Le franchissement de la transition Tr_1 indique l'arrivée d'un navire Bitumier ou d'un navire

carburant.

- ★ Le franchissement de la transition Tr_2 se fait s'il n'a aucun jeton dans la place Pl_{19} indiquant l'accostage du navire au poste 19.
- ★ La transition Tr_3 est franchie si y'a présence d'un jeton dans la place Pl_{19} ;
- ★ Une fois la transition Tr_3 soit franchie, le navire peut quitter le port en franchissant la transition Tr_4 .

Modélisation du parcours d'un gazier

Le parcours d'un gazier se modélise de la même façon qu'un bitumier. La seule différence est qu'au lieu d'accoster au poste 19, il accostera au poste 26.

La Figure 4.5 présente le parcours d'un gazier via les RdP.

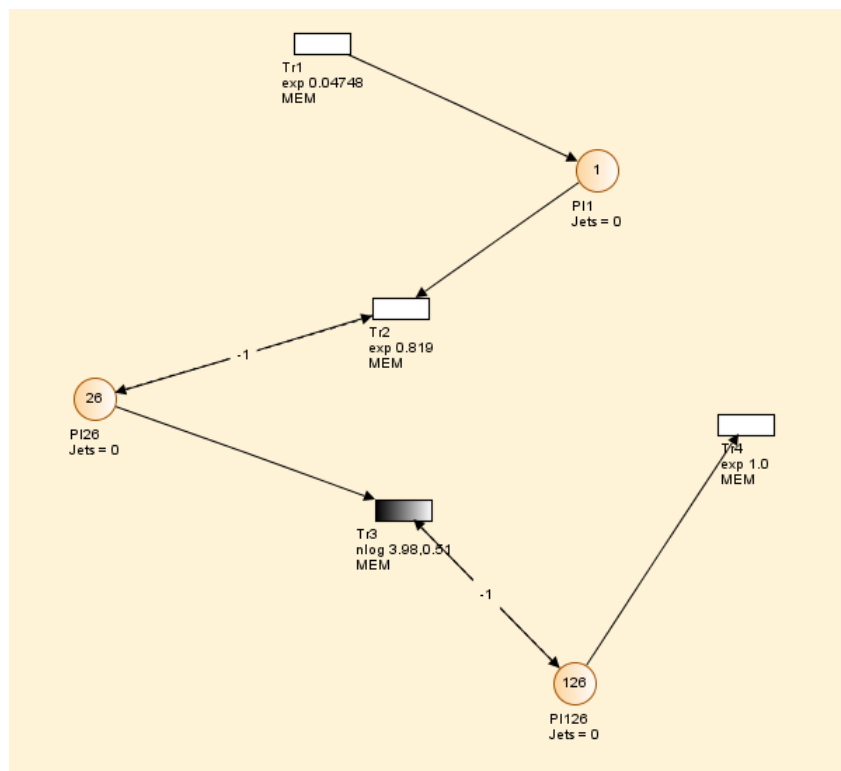


FIGURE 4.5 – Parcours d'un gazier via les RdP.

Modélisation du parcours d'un RO/RO

La Figure 4.6 présente le parcours d'un RO/RO via les RdP.

- ★ Les transitions Tr_2 à Tr_1 représente le service pilotage-remorquage ;

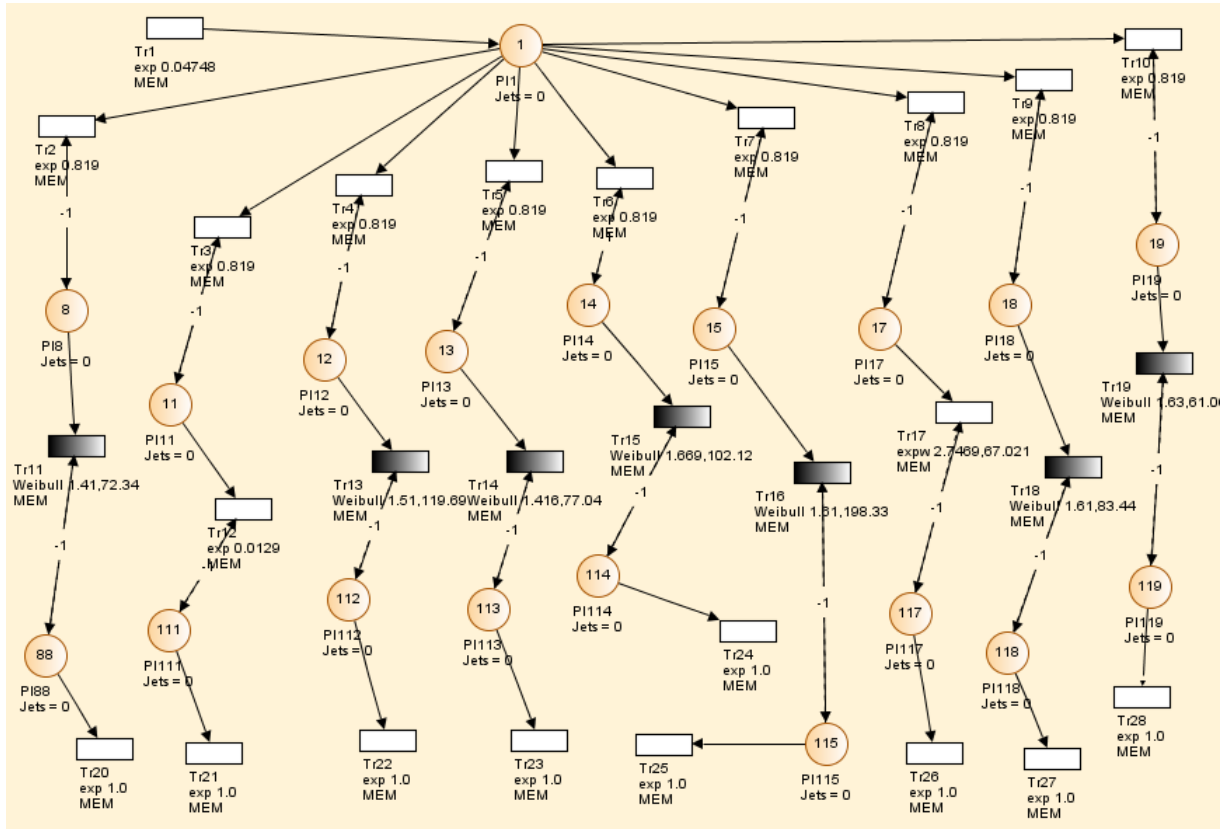


FIGURE 4.6 – Parcours d'un RO/RO via les RdP.

- ★ Les transitions Tr_{11} est franchi si un jeton est présent dans la place Pl_8 est présent. Une fois terminer le navire peut quitter le port.
- ★ De même pour les autres transitions.

Modélisation du parcours d'un navire Sucre

Le parcours est le même que celui des gaziers, la seule différence est le poste d'accostage (au lieu d'accoster au poste 26 les navires sucre accostent au poste 24).

La Figure 4.7 suivante présente le parcours d'un navire sucre via les RdP.

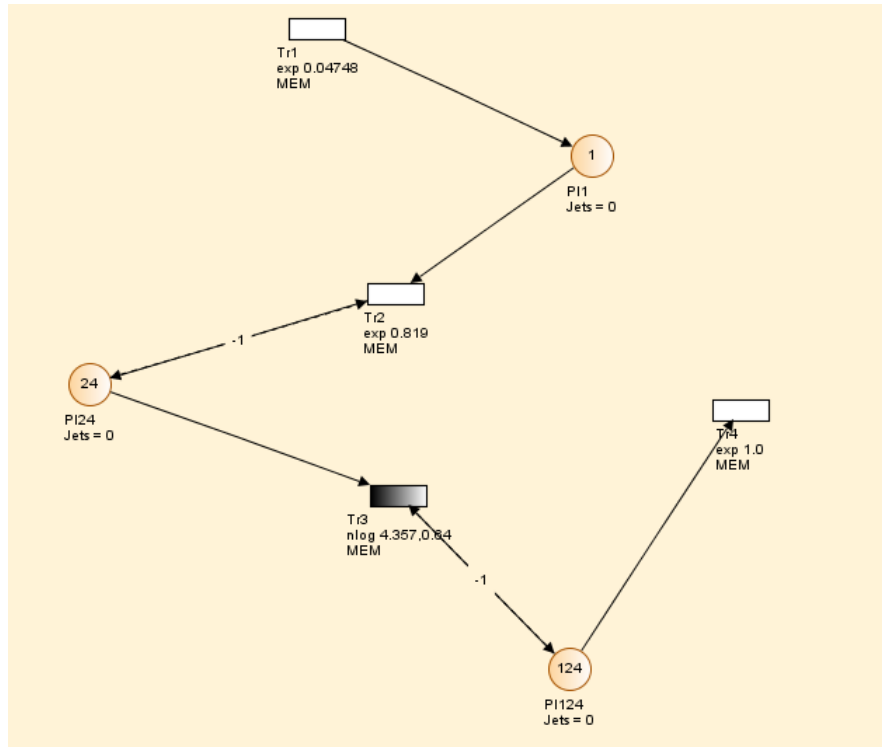


FIGURE 4.7 – Parcours d'un sucre via les RdP.

Modélisation du parcours d'un cargo

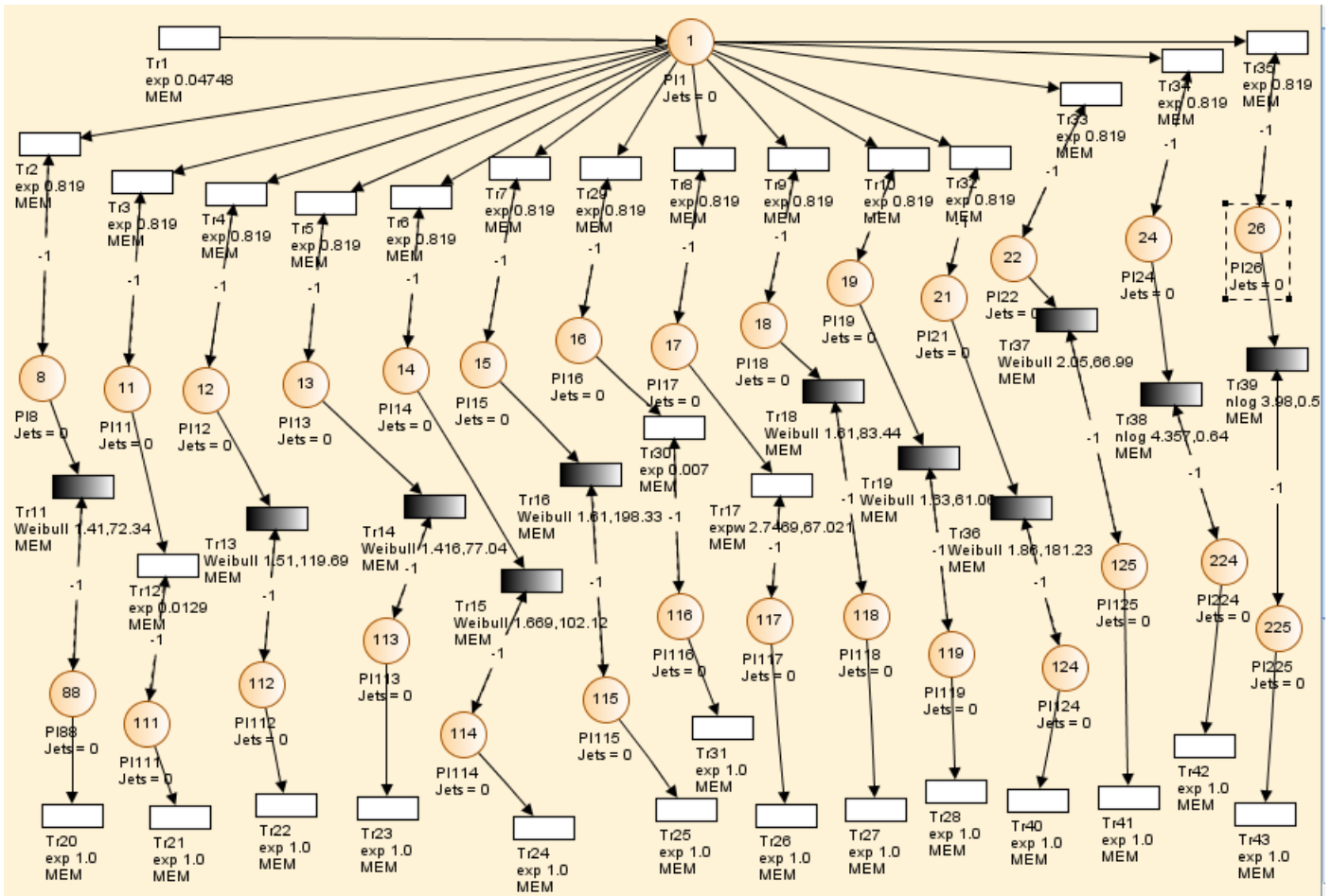


FIGURE 4.8 – Parcours d'un cargo via les RdP.

La Figure 4.8 représente le parcours d'un cargo via les RdP.

- La présence d'un jeton dans la place Pl_1 indique la présence d'un cargo dans la rade ;
- La transition Tr_2 indiquant le service pilotage-remorquage est franchie s'il n'y a aucun jeton dans la place Pl_8 . Puis le franchissement de la transition Tr_{11} indique le chargement/déchargement du navire accosté au poste 8 (Place Pl_8). Le navire peut quitter le port en franchissant la transition Tr_{20} .

Pour les postes à quai qui restent, on applique la même procédure.

Modélisation du parcours d'un céréalier

La Figure 4.9 représente le parcours d'un céréalier via les RdP.

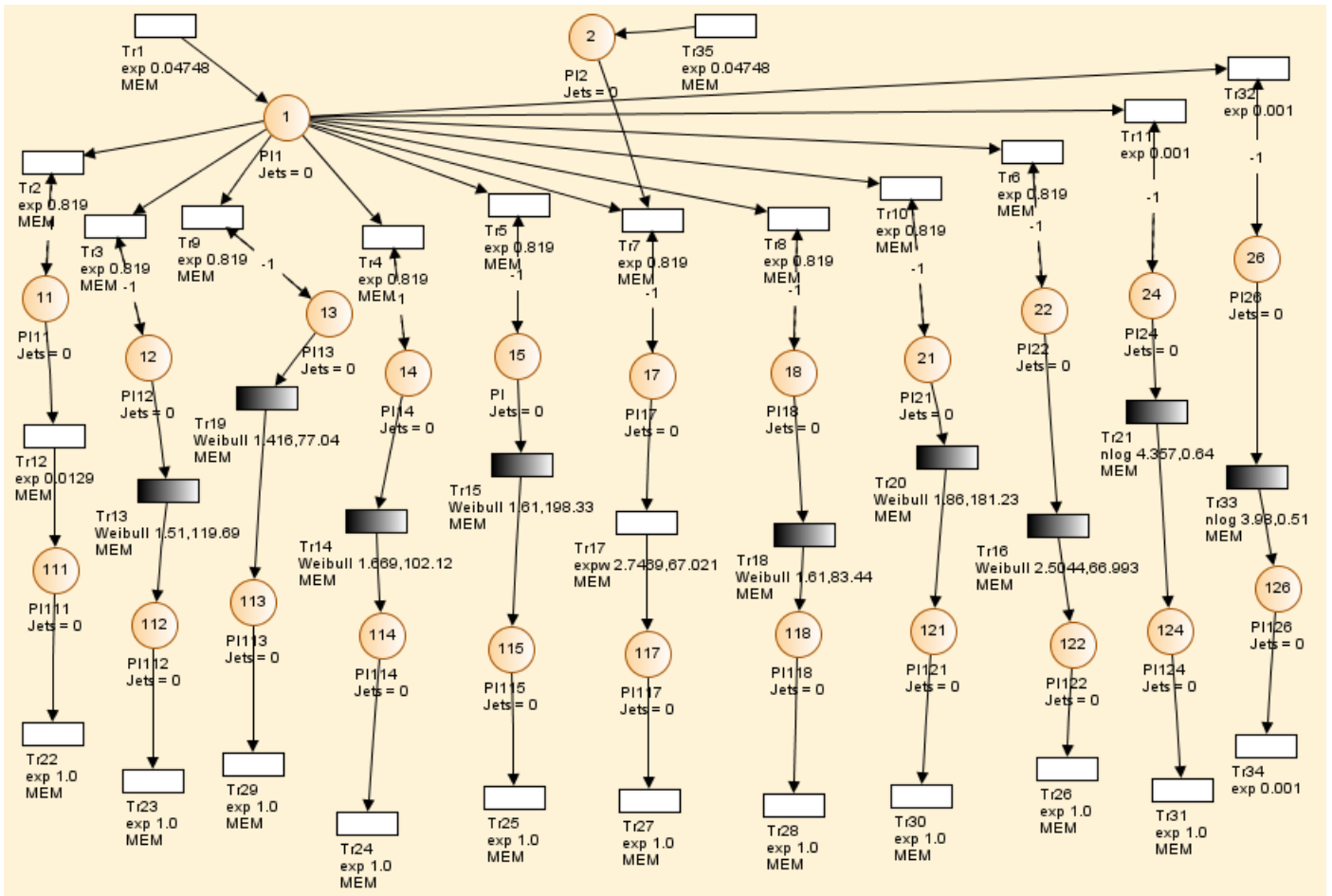


FIGURE 4.9 – Parcours d'un céréalier via les RdP.

- La transition Tr_1 représente l'arrivée d'un céréalier non étatique ;
- La transition Tr_2 représente l'arrivée d'un céréalier étatique (transportant du blé) ;
- La transition Tr_{17} est franchissable si y'a un jeton dans la place Pl_2 ou bien dans la place Pl_1 ;
- Après avoir franchi les transitions qui représente le service pilotage-remorquage Tr_2 à Tr_{11} , le navire peut charger/décharger sa marchandise en franchissant les transitions Tr_{12} à Tr_{26} puis quitter le port.

Modélisation du parcours d'un huilier

La Figure 4.10 représente le parcours d'un huilier.

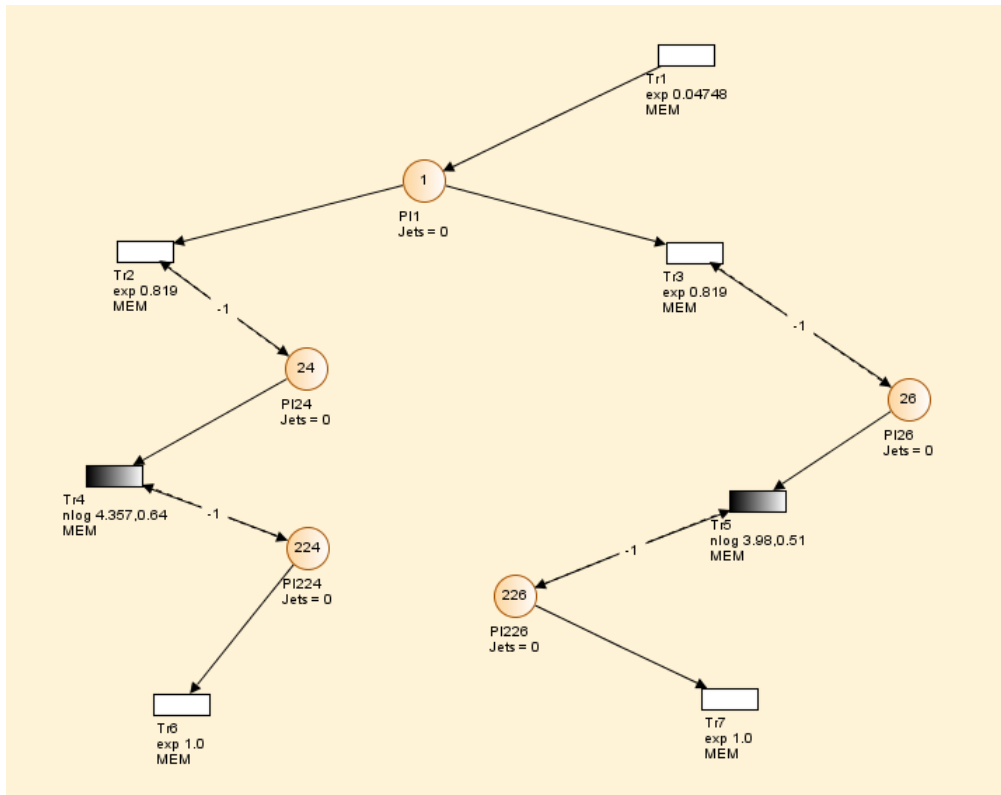


FIGURE 4.10 – Parcours d'un huilier via les RdP.

- La place Pl_{24} (resp. Pl_{26}) représente le poste 24 (resp. poste 26) ;
- La place Pl_{124} (resp. Pl_{126}) représente toujours le poste 24 (resp. poste 26).
- La présence d'un jeton dans la place Pl_1 indique la présence d'un huilier dans la rade, ce jeton franchisse la transition Tr_2 indiquant le remorquage du navire au poste 24 à condition que ce dernier soit libre sinon le navire sera accoster au poste 26 en franchissant la transition Tr_5 . Après avoir charger/décharger la marchandise le navire va être remorquer pour quitter le port en franchissant la transition Tr_6 (resp. Tr_7).

Modélisation d'un porte-conteneurs

La Figure 4.11 présente le parcours d'un navire porte-conteneurs via les RdP.

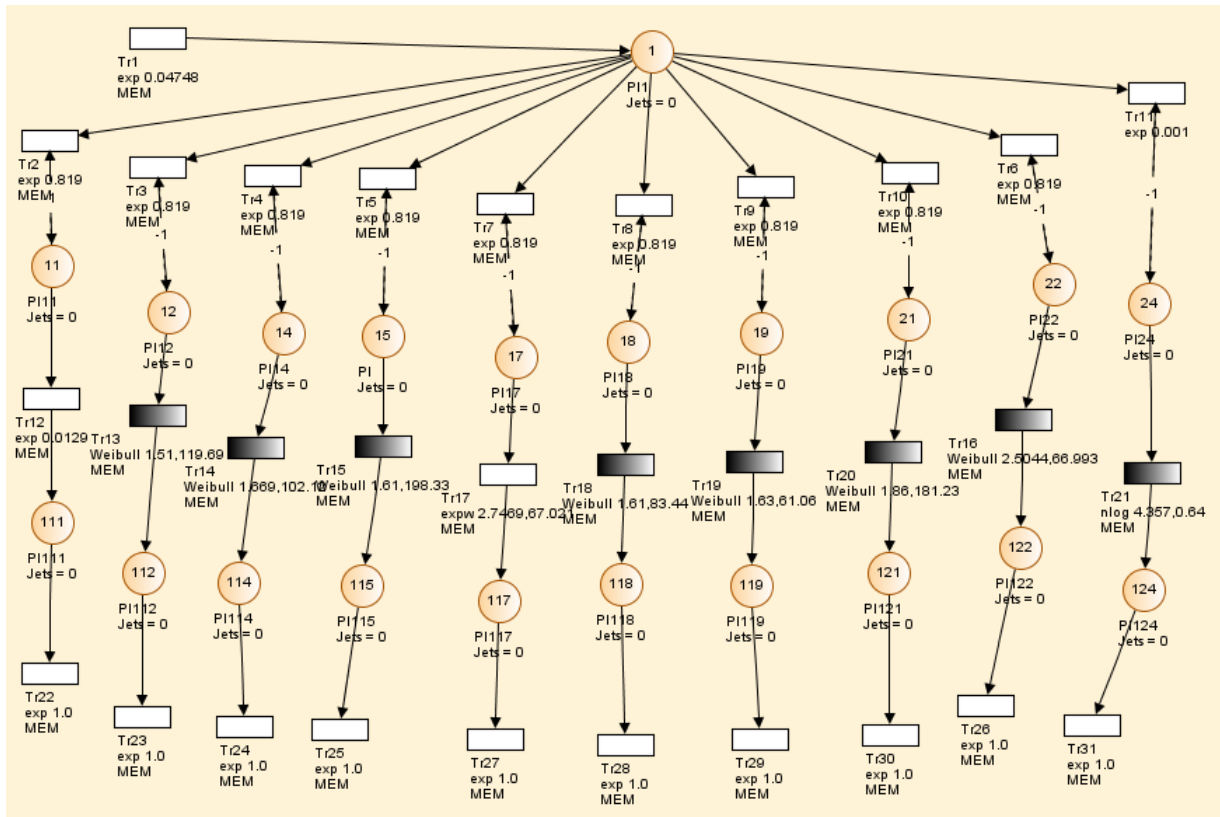


FIGURE 4.11 – Parcours d'un porte-conteneurs via les RdP.

- Le parcours est le même que les autres navires.

► Puisque tous les réseaux sont liés entre eux selon les priorités d'accostage et la disponibilité des postes à quai alors on a construit le modèle modélisant le mouvement des 11 types de navires.

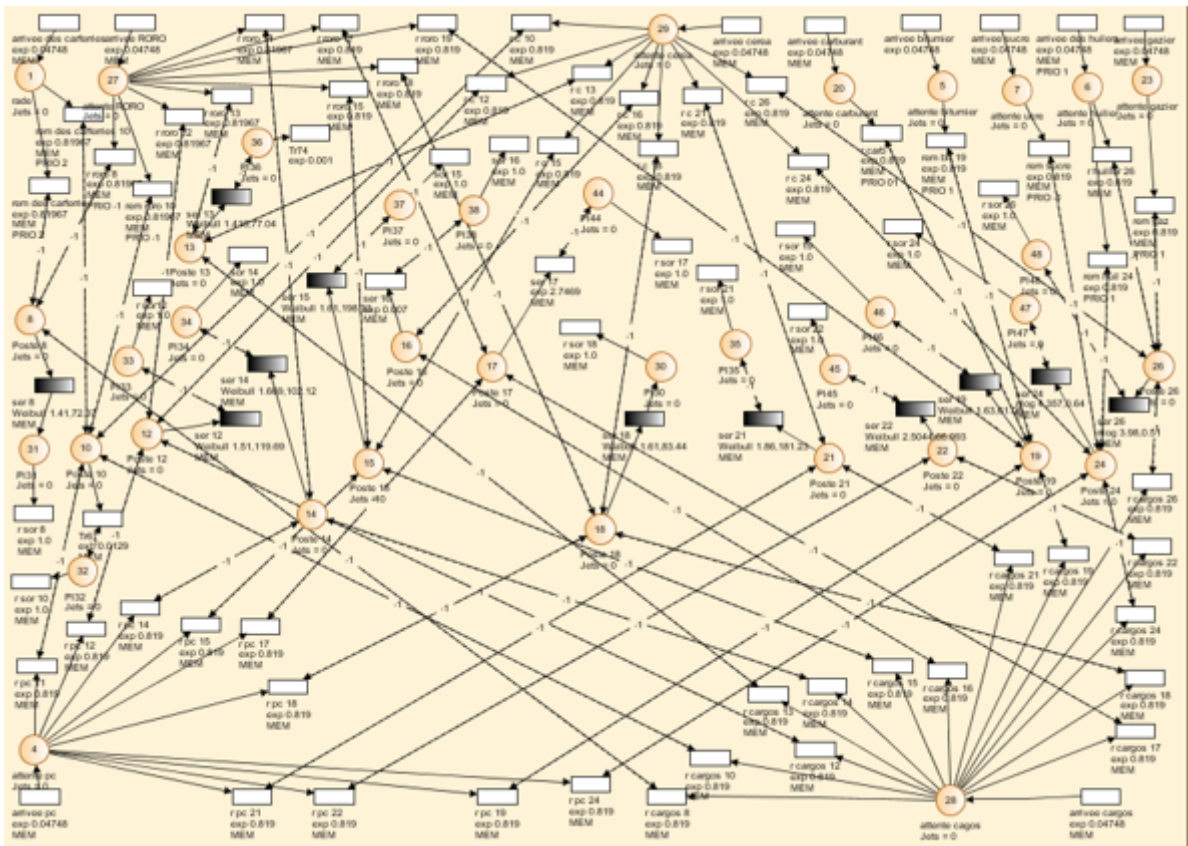


FIGURE 4.12 – Modilisation du parcours d'un navire via les RdP.

4.4 Simulation des performances du système

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats obtenus à partir des données collectées au niveau du département Informatique.

4.4.1 Résultats de la simulation et calcul de performances :

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

- Le temps moyen d'attente en rade obtenu est : 88.29 heures (soit 3.67 jours).

Dans la Table 4.4, nous avons présenté les temps moyen d'attente en rade et les temps moyen de séjour à quai par type de navire.

Interprétation

Type de navire	Temps moyen d'attente en rade	Temps moyen de séjour à quai
Car-ferries	1 heures	6.64 heures
Pétrolier	23 heures	37.84 heures
Bitumier	78.26 heures = 3j 6h 16min	38.47 heures
Gazier	5h 10min	59.08 heures
Huilier	77.18 heures = 3j 5h 11m	54.45 heures
Carburants	13h 55min	40.74 heures
Céréaliier	181.45 heures = 7j 13h 27min	204.14 heures
RO/RO	20h 12min	47.32 heures
Cargos	78.47 heures = 3j 6h 28min	88.65 heures
Porte-conteneurs	274.5 heures = 11j 10h 30min	60.16 heures
Navire sucre	166.73 heures = 6j 22h 44min	113.58 heures

TABLE 4.4 – Le temps moyen de séjour par type de navire.

Les résultats obtenus montrent que le temps moyen d'attente des navires prioritaires est très petit par rapport aux navires non prioritaires. le temps moyen de service des céréaliers est très grands par rapport aux autres types de navire cela est dû à la longueur de ces navires céréaliers et du tonnage de la marchandise transporté.

La Table 4.5 présente le temps moyen de service de chaque poste. **Interprétation**

On constate qu'il y'a un grand écart entre le temps moyen de service des postes spécialisés et ceux

Poste à quai	Temps moyen de service
Poste 2	29.48 h (soit 1.22 jours)
Poste 3	40.90 h (soit 1.7 jours)
Poste 8	77.59 h (soit 3.23 jours)
Poste 11	77.38 h (soit 3.22 jours)
Poste 12	107.73 h (soit 4.48 jours)
Poste 13	69.66 h (soit 2.9 jours)
Poste 14	91.23 h (soit 3.8 jours)
Poste 15	178.30 h (soit 7.42 jours)
Poste 16	132.19 h (soit 5.5 jours)
Poste 17	184.10 h (soit 7.67 jours)
Poste 18	74.51 h (soit 3.1 jours)
Poste 19	53.63 h (soit 2.23 jours)
Poste 21	162.70 h (soit 6.78 jours)
Poste 22	62.12 h (soit 2.59 jours)
Poste 24	94.94 h (soit 3.95 jours)
Poste 26	64.27 h (soit 2.68 jours)
SPM/90	43.58 h (soit 1.81 jours)

TABLE 4.5 – Le temps moyen de service par poste.

non spécialisés cela est du à la variété et au nombre de navires traité dans ces derniers.

Dans la Table 4.6, nous avons donnés les indices de performances issus de la simulation du RdP développé.

Indices de performances	système		Rade		Poste
	L(n)	W(h)	$L_q(n)$	$W_q(h)$	W_{poste}
Simulation	20.56	146.57	8.38	88.29	85.28

TABLE 4.6 – Evaluation des performances du système par RdP.

où :

- $L(n)$: le nombre moyen de navire dans le système ;
- $W(h)$: le temps moyen de séjour ;
- $L_q(n)$: le nombre moyen de navire dans la rade ;
- $W_q(h)$: le temps d'attente dans la file ;
- W_{poste} : le temps moyen de service.

► Le taux d'utilisation des remorqueurs obtenus est égal à 12.48%.

Les taux d'utilisations des postes à quai et du système sont représentés par la Table 4.7 :

Poste	02	03	08	11	12	13
Taux%	15.20	20.45	33.30	34.5	53.87	34.83
Poste	14	15	16	17	18	19
Taux%	45.62	89.15	67.01	92.02	37.26	27.14
Poste	21	22	24	26	SPM/90	Système
Taux%	80.22	31.06	48.62	31.35	21.79	44.91

TABLE 4.7 – Taux d'utilisations des postes à quai.

A partir des données de la Table 4.7, nous avons dessinés l'histogramme suivant :

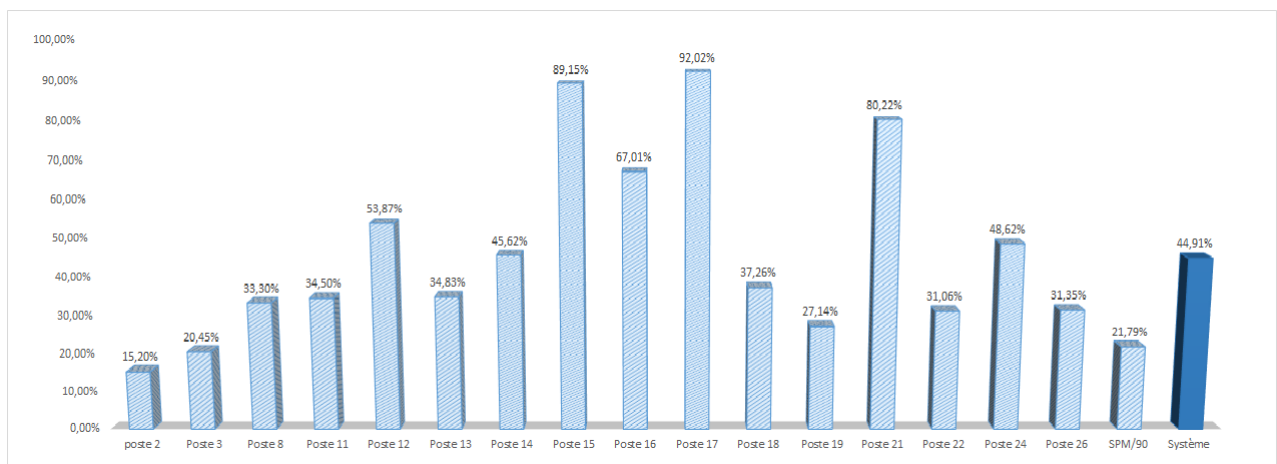


FIGURE 4.13 – Taux d'utilisation des postes à quai .

Interprétations

Les résultats de cette simulation montrent que le taux d'utilisation du système représente 44.91%. On constate qu'il y'a un grand écart entre le taux d'utilisation des postes spécialisés et ceux non

spécialisés. Cela est dû à la variété et au nombre important de navires que traite les postes non spécialisés.

4.4.2 Simulation des performances du système dans le cas de variation des paramètres

4.4.2.1 Simulation par variation du trafic

Nous avons simulé les performances du port en augmentant le taux des inter-arrivées de 10%. Les indices de performances obtenus sont représentés sur la Table 4.8.

Indices de performances	système		Rade		Poste
	L(n)	W(h)	$L_q(n)$	$W_q(h)$	W_{poste}
Simulation	36.46	305.96	19.52	214.28	91.68

TABLE 4.8 – Evaluation des performances par RdP avec une augmentation du taux des inter-arrivées de 10%.

Interprétation

Les résultats obtenus montrent que le temps d'attente en rade représente 70.03% (soit 8.92 jours sur 12.74 jours) du temps de séjour dans le système. Les résultats montrent aussi que le temps d'attente en rade a augmenté d'environ 10%. Le nombre de navire en rade représente 19 sur 36 des navires dans le système.

- Le taux d'utilisation des remorqueurs obtenu a augmenté d'environ 5% (de 12.48% à 17.19%).

Les taux d'utilisations des postes à quai sont représentés par le tableau suivant :

Poste	02	03	08	11	12	13
Taux%	18.73	22.13	37.47	35.26	65.48	39.95
Poste	14	15	16	17	18	19
Taux%	49.08	95.27	70.11	97.13	42.97	30.74
Poste	21	22	24	26	SPM/90	Système
Taux%	86.04	35.59	53.74	36.57	23.25	49.38

TABLE 4.9 – Taux d'utilisation des postes à quai par RdP avec une augmentation du taux des inter-arrivées de 10%.

A partir des données de la Table 4.9, nous avons dessiné l'histogramme suivant :

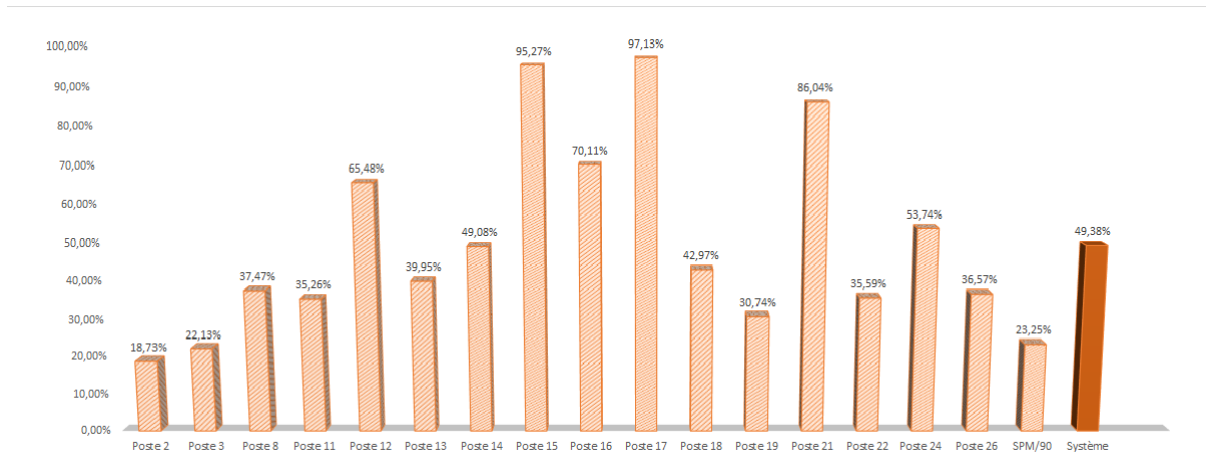


FIGURE 4.14 – Taux d'utilisation des postes à quai avec une augmentation des inter-arrivées.

Interprétation

Le taux d'utilisation du système est passé de 44.91% à 49.38%. Nous constatons que le taux d'utilisation des postes 15 et 17 dépassent 90% cela se traduit par le flux supplémentaire des grands navires.

La Figure 4.18 compare les taux d'utilisations des postes à quai avant et après l'augmentation du taux des inter-arrivées.

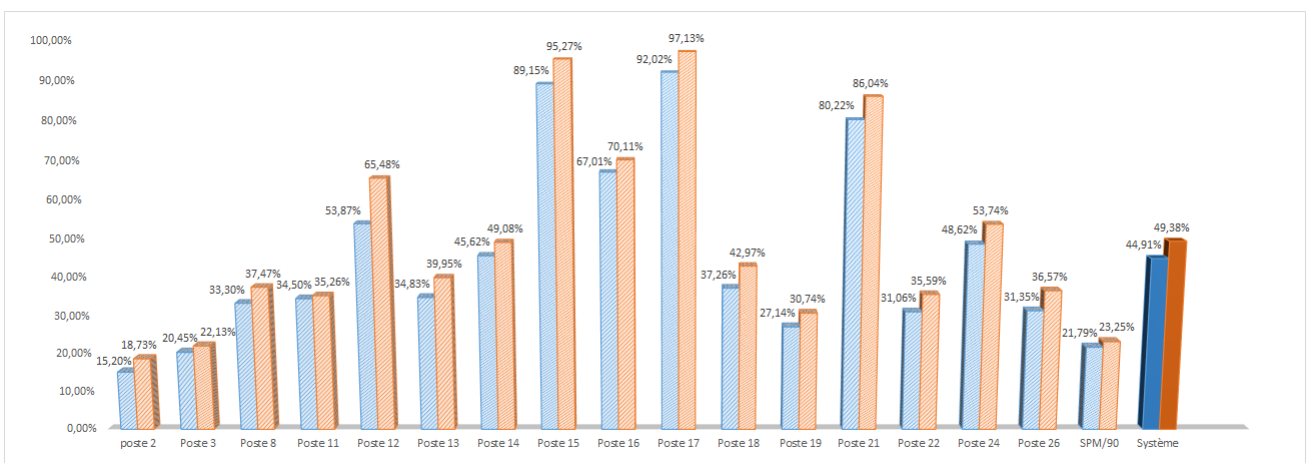


FIGURE 4.15 – Comparaisons des taux d'utilisations des postes avant et après augmentation du taux des inter-arrivées.

4.4.2.2 Simulation par ajout du poste 25

Des travaux sont en cours de construction d'un nouveau quai sur une longueur de 170 m, à une profondeur de moins de 12 m, pour accueillir les navires de classe C7 (Porte-conteneurs), C8 (Céréaliers), C9 (RO/RO) ou les navires de la classe C10 (Cargos).

- Le poste 25 est un poste non spécialisé.

Nous avons simulé les performances en considérant le poste 25. Nous avons trouvés les résultats résumés dans la Table 4.10.

Indices de performances	système		Rade		Poste
	L(n)	W(h)	$L_q(n)$	$W_q(h)$	W_{poste}
Simulation	23.65	166.91	6.95	79.52	87.39

TABLE 4.10 – Evaluation des performances du système par les RdP en ajoutant le poste 25.

Interprétation

Les résultats obtenus montrent que le temps moyen d'attente en rade a diminué d'environ 13% (soit 47.64%) du temps de séjour dans le système, c'est-à-dire 79.52 heures (3.31 jours) sur 166.91 heures (6.95 jours).

Les taux d'utilisations des postes à quai sont représentés par le tableau suivant :

Poste	02	03	08	11	12	13	
Taux%	15.83	20.03	32.98	32.24	49.51	33.46	
Poste	14	15	16	17	18	19	
Taux%	45.01	78.65	63.21	80.12	34.69	26.93	
Poste	21	22	24	25	26	SPM/90	Système
Taux%	69.74	29.87	47.12	49.56	31.28	21.59	42.32

TABLE 4.11 – Taux d'utilisation des postes à quai en ajoutant le poste 25.

A partir des données de la Table 4.11, nous avons dessiné l'histogramme suivant :

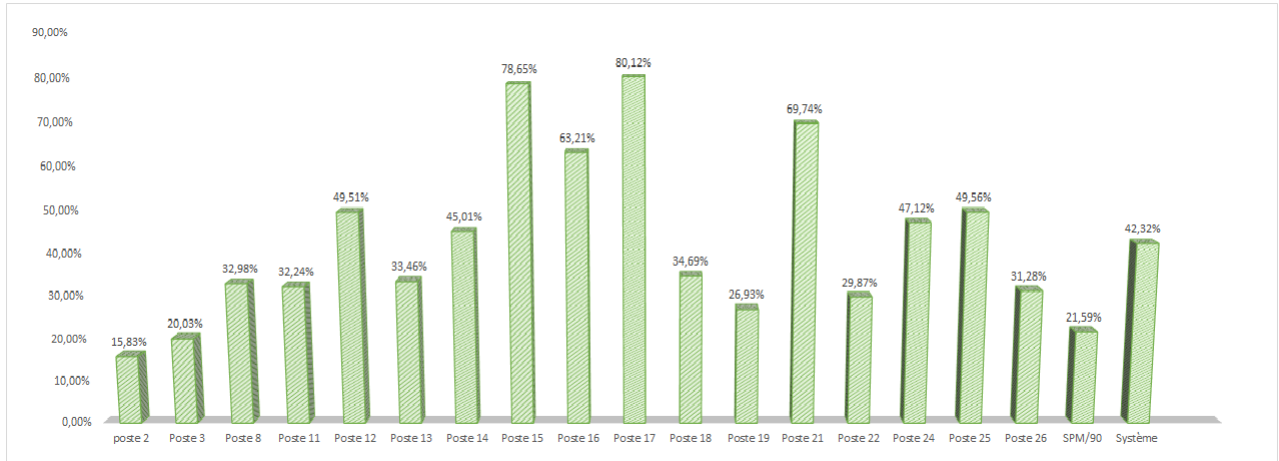


FIGURE 4.16 – Histogramme des taux d'utilisations des postes à quai en ajoutant le poste 25.

La Figure 4.20 compare les taux d'utilisations des postes à quai avec et sans l'ajout du poste 25.

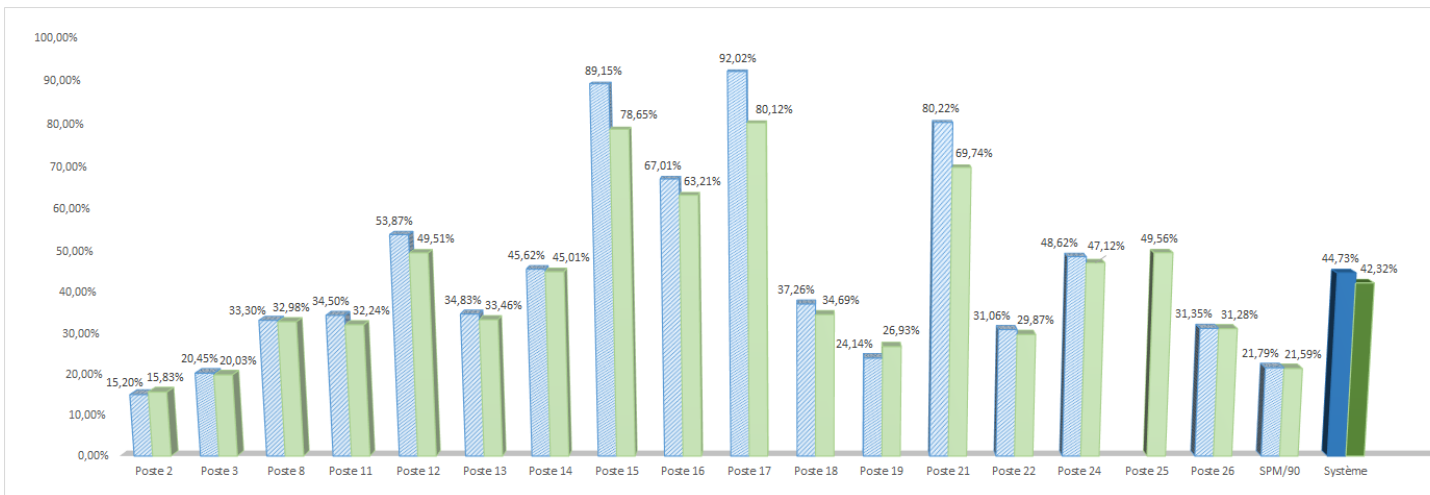


FIGURE 4.17 – Histogramme comparatif entre les taux d'utilisations des postes à quai avec et sans ajout du poste 25.

Interprétations

Les résultats de cette simulation montrent que le taux d'utilisation du système est passé de 44.85 à 42.32% (une diminution de 2.53% est constaté). On constate que le taux d'utilisation du poste 21 à reconnu une diminution de 16%. On voit aussi une diminution de plus de 11% dans le poste 17 et une diminution de plus de 10% dans le poste 15. On conclue alors que l'ajout du poste 25 diminuera beaucoup plus la charge dans les postes 15, 17 et 21.

4.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné, en premier lieu, une modélisation détaillée des mouvements des navires au sein de l'Entreprise Portuaire de Bejaia. Contrairement aux études précédentes, dans notre travail, nous avons fait appel aux réseaux de Petri pour analyser ce système. En effet, cet outil nous a permis d'obtenir une analyse détaillée et sémantiquement précise des mouvements des navires. En second lieu, nous avons calculé les indices de performances qui nous ont permis de voir l'influence de l'augmentation du taux des inter-arrivées ainsi que l'impact du poste 25 sur les performances du système.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

La mondialisation constitue un vecteur de modernisation, subi ou maîtrisé, du secteur maritime. Les adaptations sont introduites à un rythme inégal, selon les secteurs (transport maritime, construction navale, ports, logistiques), et selon le degré d'exposition à la concurrence internationale [16].

Dans ce travail nous avons pu évaluer les performances des mouvements des navires au sein de l'Entreprise Portuaire de Bejaia. En effet, cette étude est basée sur les données disponibles au niveau de l'EPB, à savoir celles des deux années 2016/2017. Leur exploitation s'est avérée difficile vu que les informations sur un navire ne sont pas toujours complètes. Ces données ont néanmoins permis de définir les lois qui régissent le processus des arrivées au port et celui de service dans chaque poste à quai. L'ajustement de ces lois a été fait en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov.

Dans notre travail, nous avons appliqué pour la première fois les réseaux de Petri, pour modéliser et évaluer les performances des mouvements de la navigation au sein de l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB). La complexité du processus étudié, ainsi que la présence des phénomènes du parallélisme et du partage des ressources, nous ont conduits à faire appel aux RdP pour une évaluation adéquate et valide des différents indices de performances. Pour ce faire, le module Petri Net V12 du logiciel GRIF a été mis à profit.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que l'ajout du poste 25 permet de diminuer les taux d'utilisations des postes à quai surtout les postes 15, 17 et 21. En effet, cette amélioration montre que le temps d'attente en rade peut être diminué d'environ 3%. Par ailleurs, nous avons constaté qu'une augmentation de 10% du taux des inter-arrivées va augmenter le taux d'utilisation du système.

Le modèle comme il a été établi dans cette étude ne considère que le sous-système représentant le processus d'acheminement d'un navire de la rade aux postes à quai est en fonctionnement indépendant des autres sous-systèmes. Il est possible de modéliser le système en tenant compte des impératifs de chargement et de déchargement, des problèmes de disponibilité des aires d'entreposage, de pilotes, de remorqueurs, d'équipes de manutention, d'engins de relevage, etc.

Le port en tant que système très complexe ouvre plusieurs horizons de travail et de recherches pour l'optimisation de son fonctionnement. Il serait utile :

- D'analyser l'aspect saisonnier du trafic des navires et de la marchandise pour pouvoir adapter un modèle de travail optimal.
- Chercher à trouver une affectation optimale des navires aux postes à quai.
- Étudier le système en tenant compte des problèmes de disponibilité des aires d'entreposage, de pilotes, de remorqueurs, d'équipes de manutention, d'engins de relevage, etc.

Par ailleurs, une extension de la collecte des données actuelles pourrait permettre d'envisager d'autres études pouvant contribuer à l'amélioration des performances du port de Bejaia.

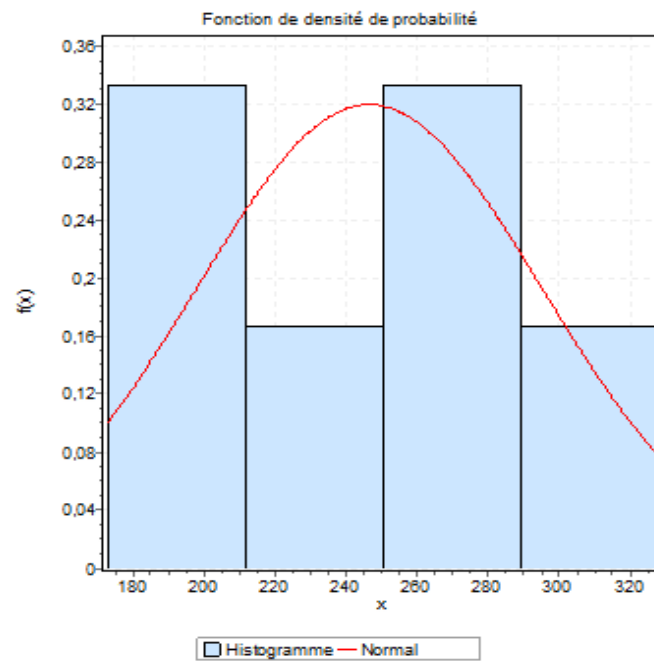


FIGURE 4.18 – L’histogramme et la courbe de la loi du nombre de navires à une date donnée.

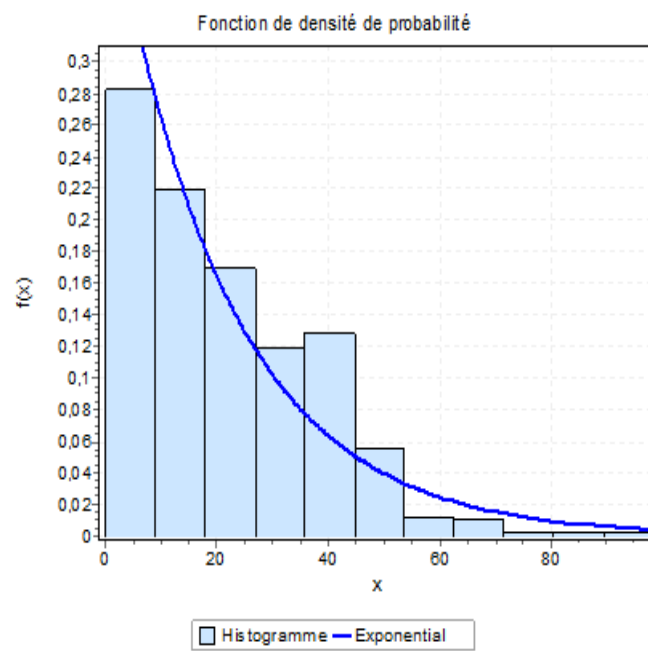


FIGURE 4.19 – L’histogramme et la courbe de la loi des durées entre deux arrivées.

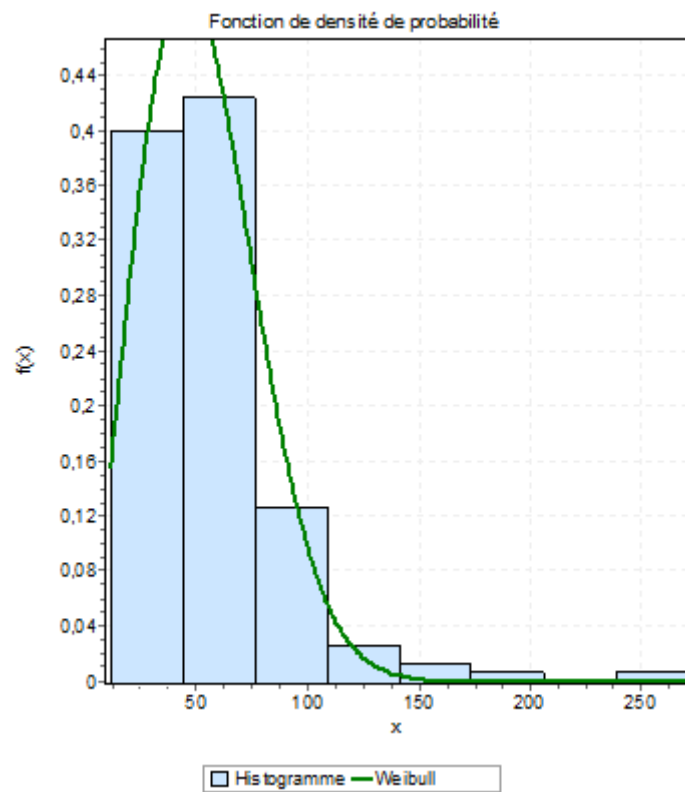


FIGURE 4.20 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 1.

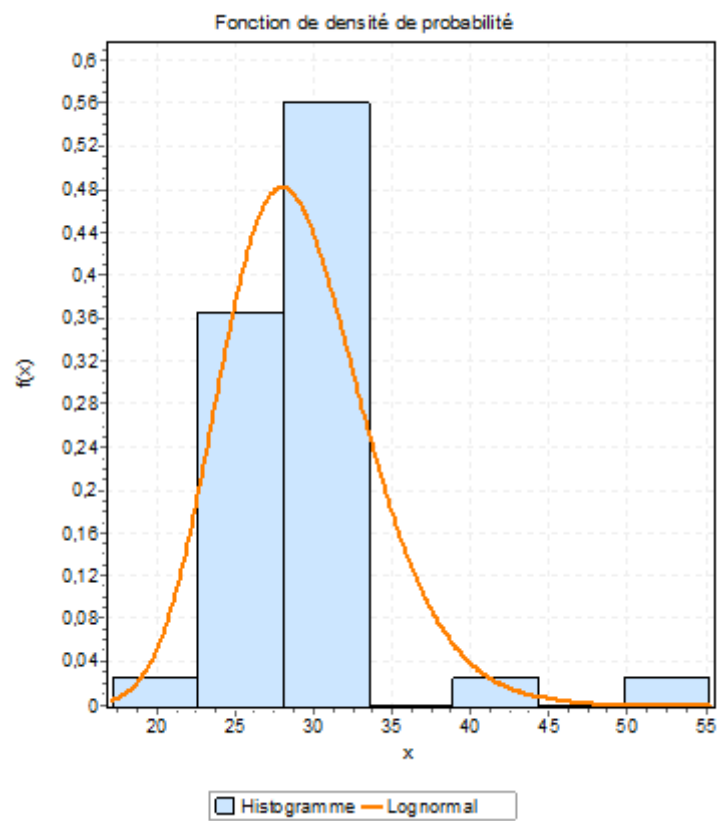


FIGURE 4.21 – L’histogramme et la courbe de loi de durée de service du poste 2.

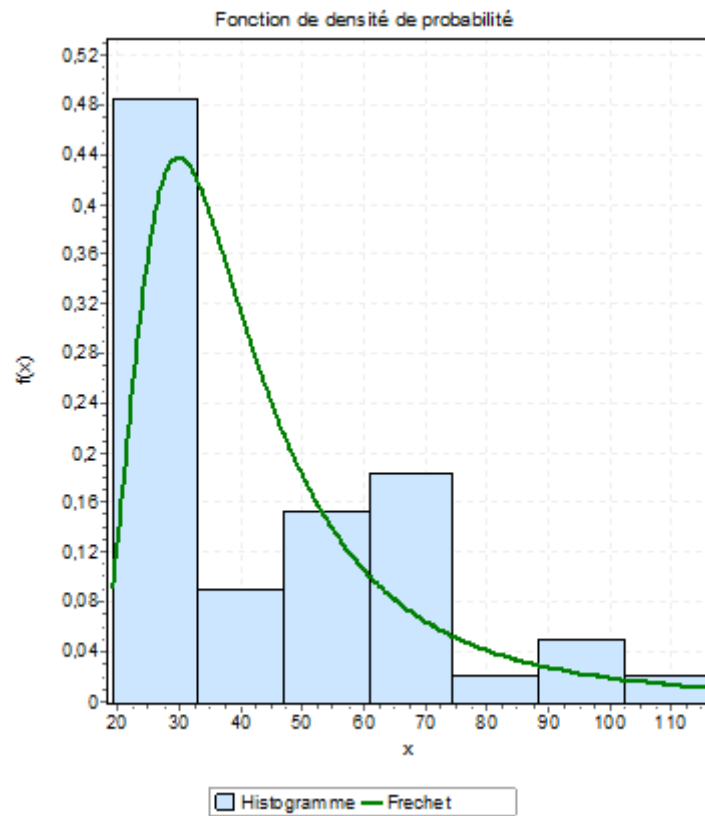


FIGURE 4.22 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 3.

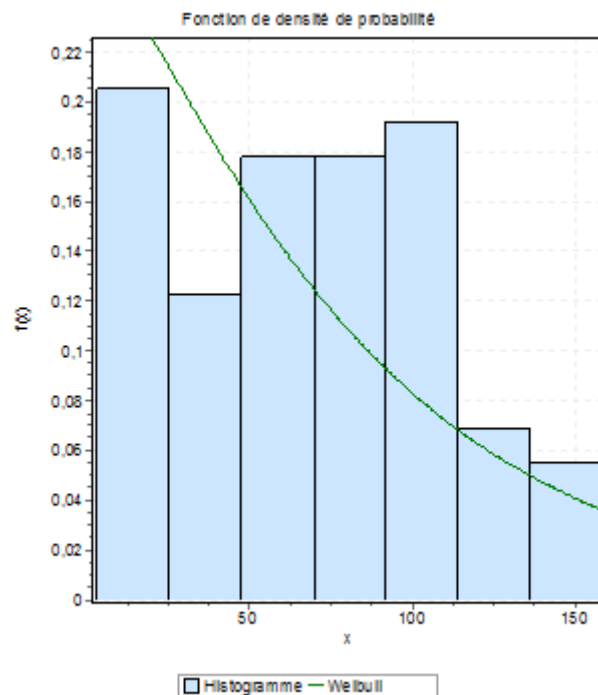


FIGURE 4.23 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 8.

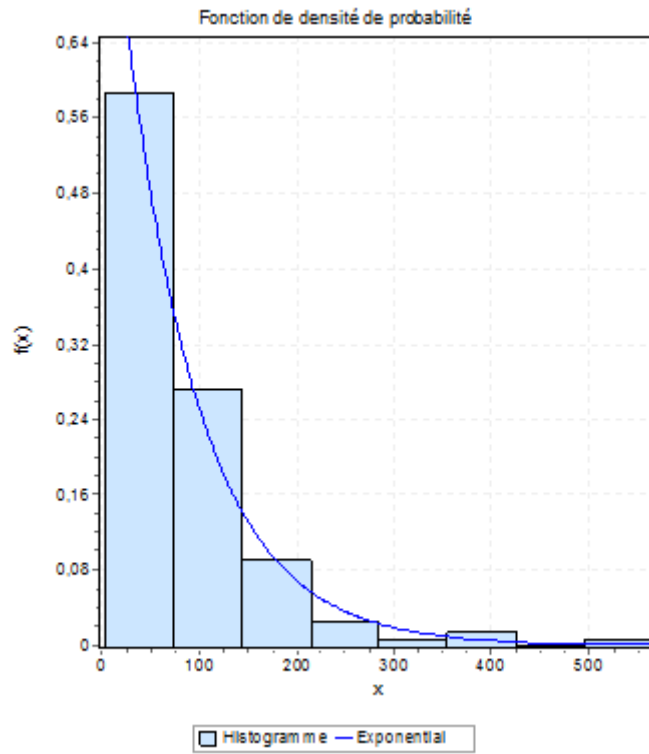


FIGURE 4.24 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 11.

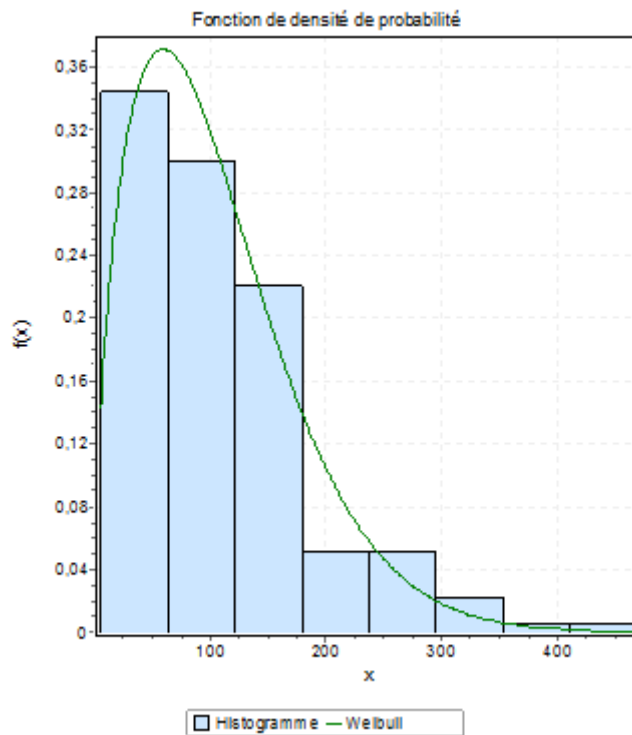


FIGURE 4.25 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 12.

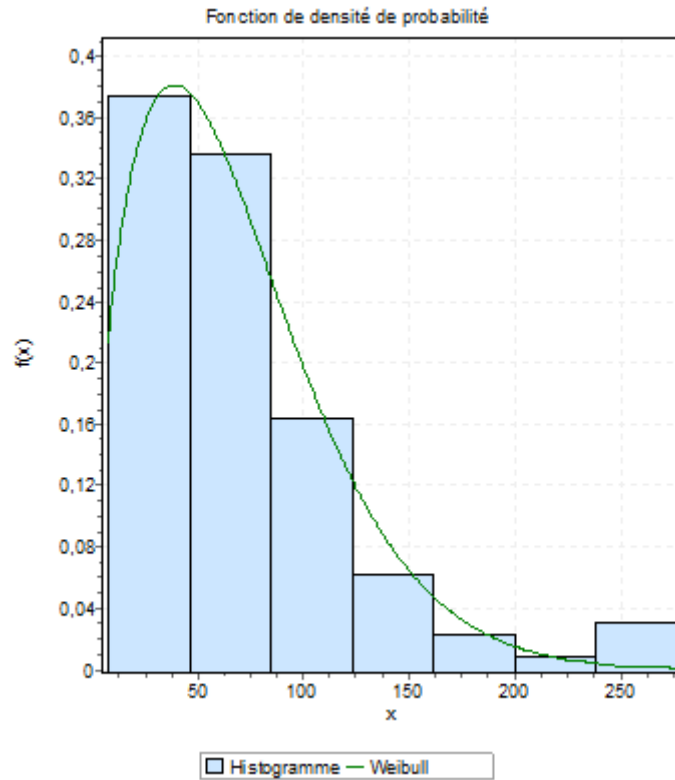


FIGURE 4.26 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 13.

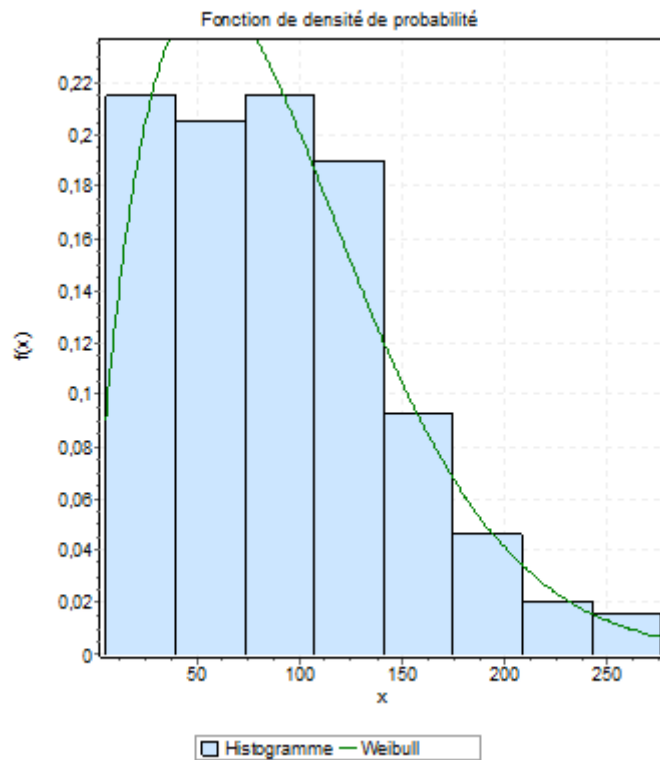


FIGURE 4.27 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 14.

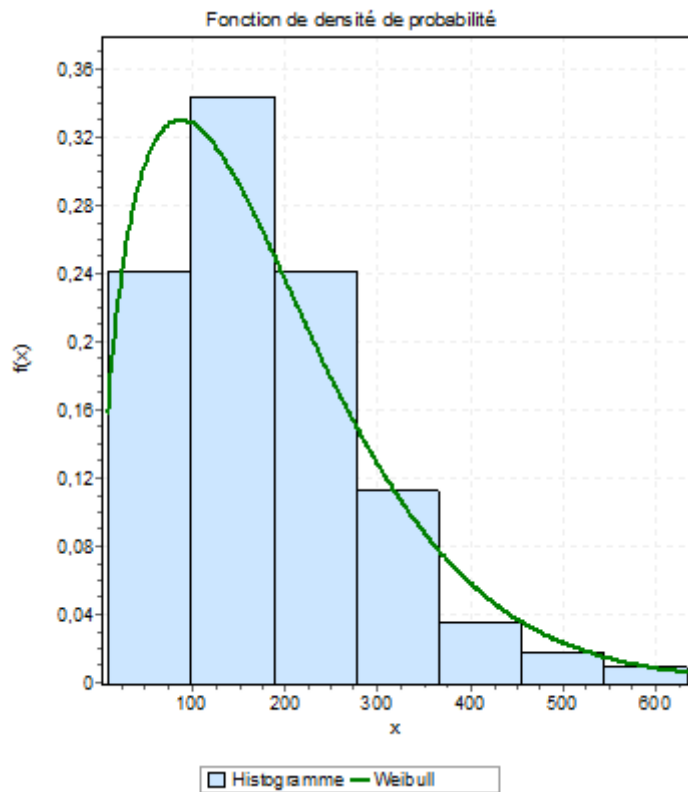


FIGURE 4.28 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 15.

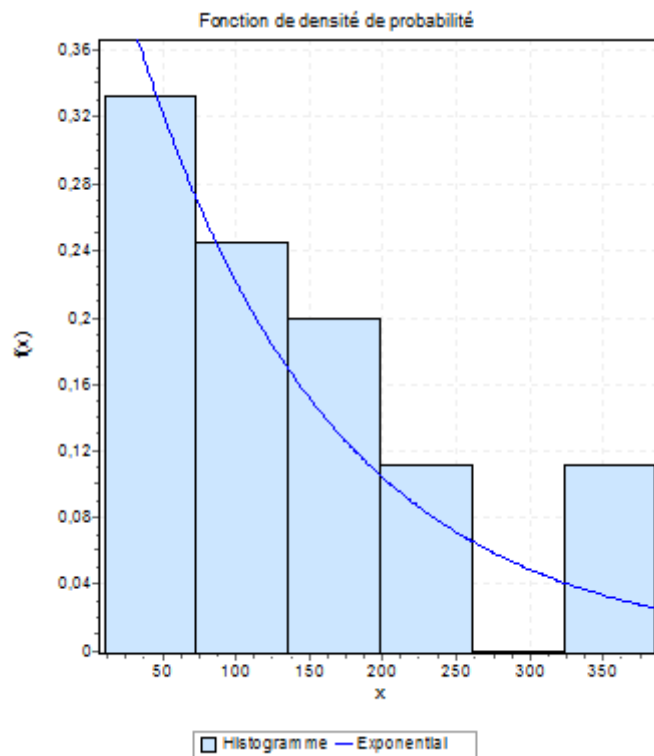


FIGURE 4.29 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 16.

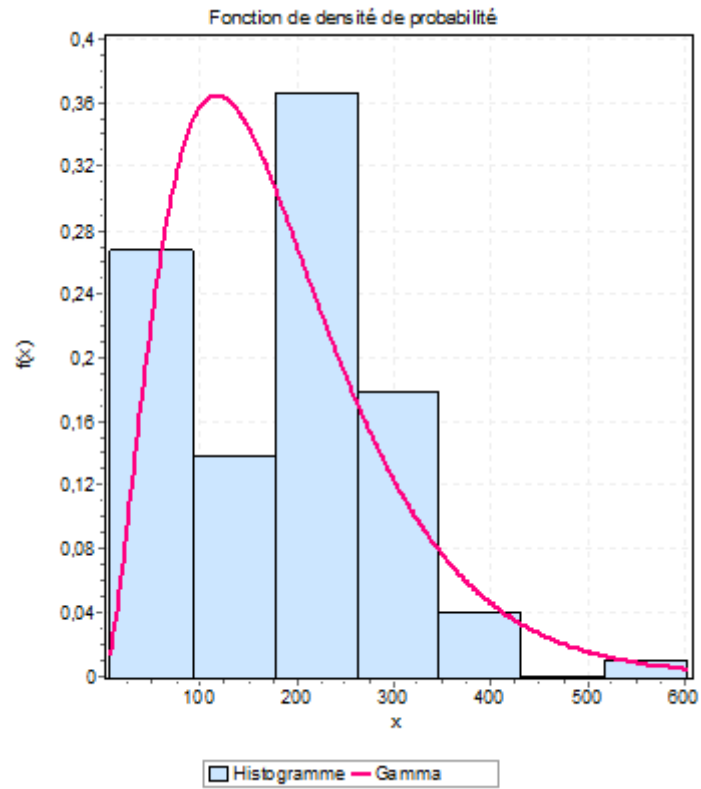


FIGURE 4.30 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 17.

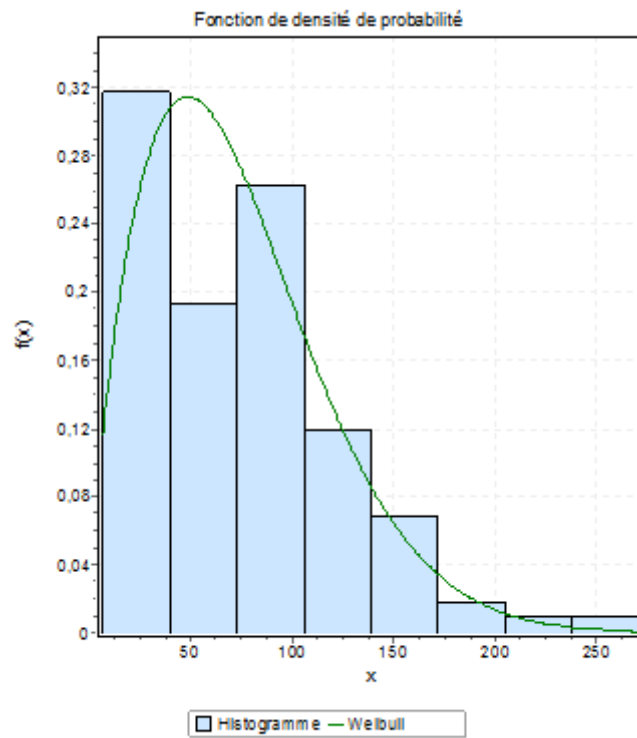


FIGURE 4.31 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 18.

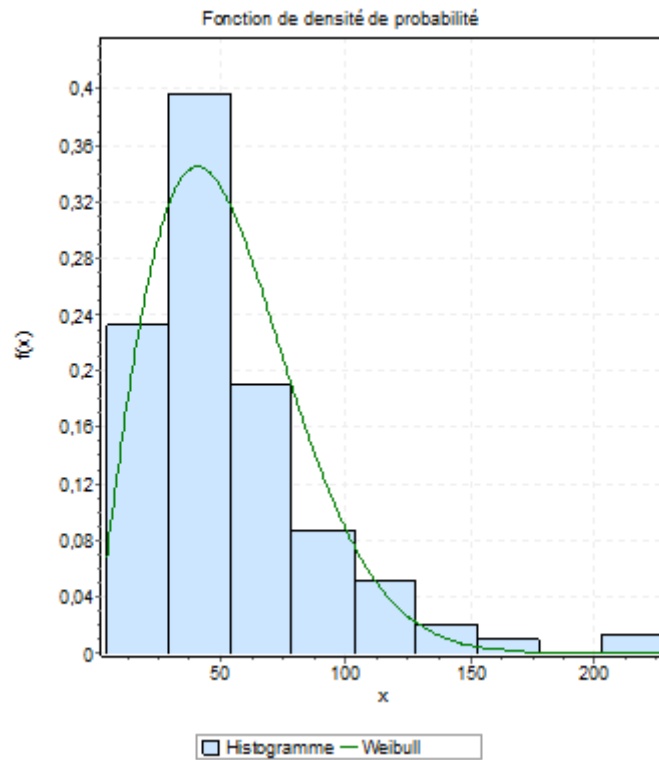


FIGURE 4.32 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 19.

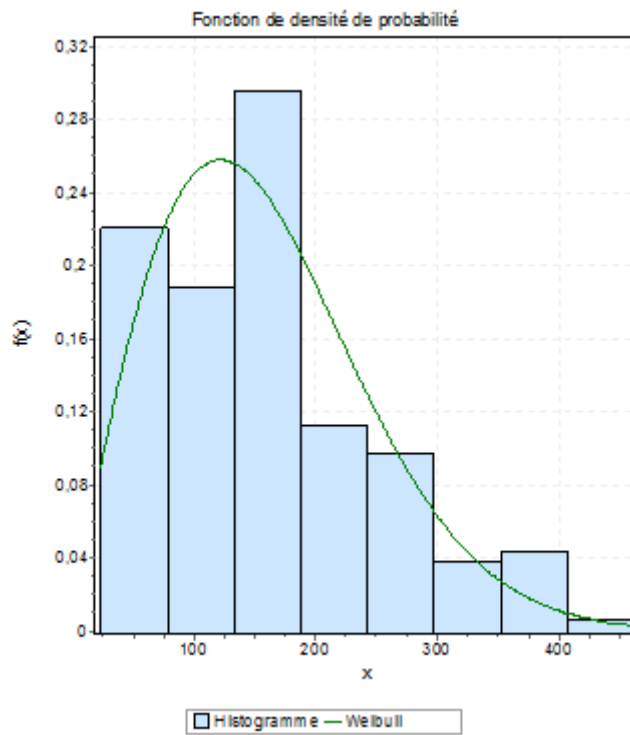


FIGURE 4.33 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 21.

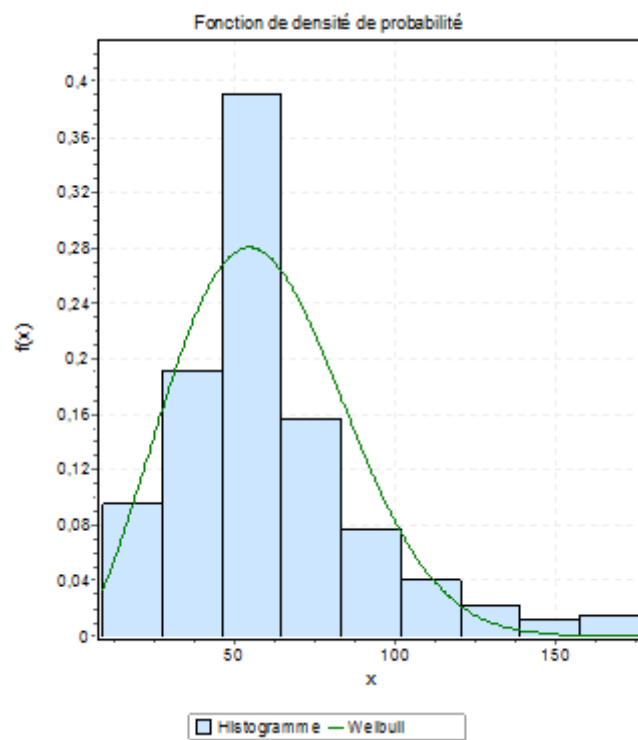


FIGURE 4.34 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 22.

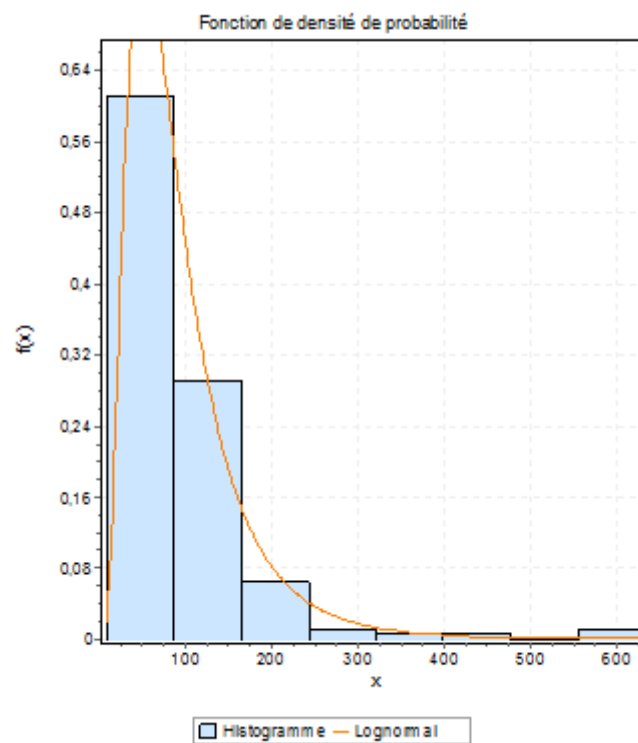


FIGURE 4.35 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 24.

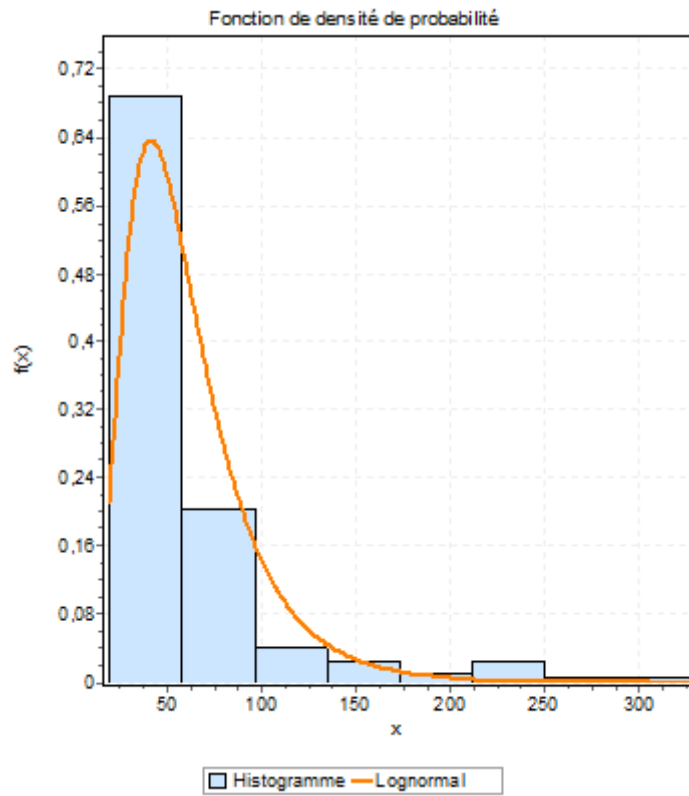


FIGURE 4.36 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste 26.

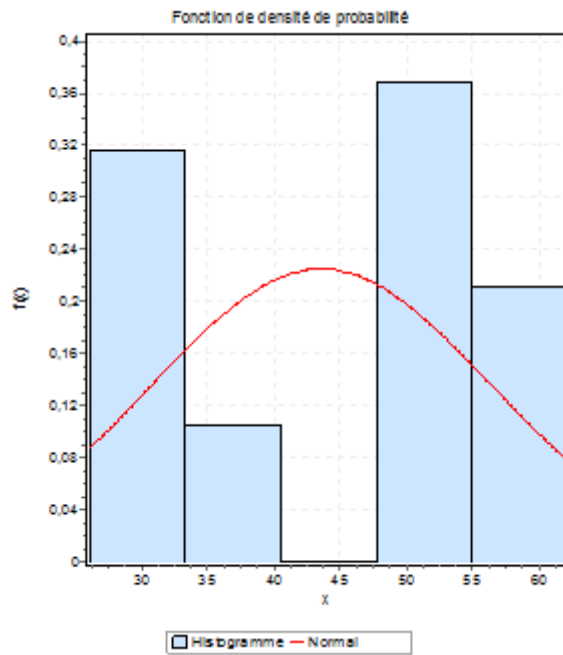


FIGURE 4.37 – L’histogramme et la courbe de la loi de durée de service du poste SPM/90.

Présentation de l'interface GRIF :

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

Le module Petri permet la modélisation des grands systèmes dynamiques par des Réseaux de Petri. Ce module s'appuie sur Moca-RP basé sur la simulation de Monte-Carlo réseaux de Petri. La saisie des réseaux de Petri (RdP) est très simple et s'appuie sur une interface graphique intuitive. Elle permet la création des places, transitions, arcs, jetons et de tous types de variables mathématiques et opérations logiques (OR, AND, if-then-else, Min (), Max ()...). Ces variables matérialisent des indicateurs et permettent d'agir sur la validation (prédicats) des transitions. Elles peuvent aussi être modifiées lors des tirs de transitions.

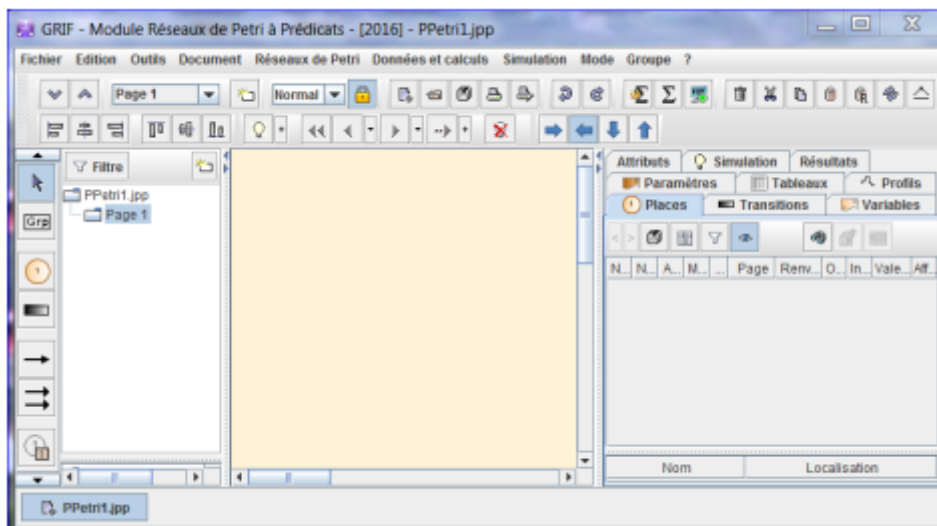


FIGURE 4.38 – L'interface de logiciel GRIF.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Abdellah et I. Habib. Conception et réalisation d'un logiciel d'Édition et D'Analyse des Réseaux de Petri. Thèse de Magister, LEARP, 2000.
- [2] A. Aissani et D. Aissani. Réseau de file d'attente. cours, U.S.T.H.B. Alger, 1988.
- [3] G. Alessandro, Pilloni, Maria Teresa, Seatzu et Carla. Modelling and simulation of a bottling plant using hybrid Petri nets. International journal of production research, Taylor and Francis, 2005.
- [4] N. Ayache et R. Hadja. Evaluation des performances du terminal à conteneurs BMT (Bejaia Mediterranean Terminal). Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, 2007.
- [5] A. Benghalia. Modélisation et évaluation des performances des terminaux portuaires. Thèse de doctorat, Université du Havre, 2015.
- [6] A. Boulghourba, S. Larbi, L'impact de l'extension du port sur les performances du terminal à conteneurs (BMT) via les RdP, Université de Bejaia, 2016.
- [6] A. Boulghourba et S. Larbi, L'impact de l'extension du port sur les performances du terminal à conteneurs (BMT) via les RdP, Université de Bejaia, 2012.
- [7] Document internes du département Marketing, E.P.B, Bejaia, 1992.
- [8] M. DRIGHICIU et MANOLEA, Gheorghe. Application des réseaux de Petri hybrides a l'étude des systèmes production a haute cadence. Thèse de Magister. Université de Toulon, juin 2011.
- [9] M. Hadji, I. Medjahdi, Minimisation du temps de séjour des navires dans le port de bejaia, Université de Bejaia, 2015.
- [10] S. Hakmi, Evaluation des performances des systèmes prioritaires à l'aide des Réseaux de Petri Stochastique généralisés (RdPSG). Thèse de magistère, Université de Bejaia, 2011.

- [11] A. Hicham et G. Mohamed. Initialisation des RdP à Partir des diagrammes UML. Cours, Ecole Natinoale Supérieure d'Informatique. 2010.
- [12] J. Kapur et Kesavan.H.R, Entropy Optimization Principles With Applications. Academic press, Boston, 1992.
- [13] S. Kebbas. Contribution à la correction et l'amélioration de la qualité de service dans une entreprise publique, en utilisant les réseaux de files d'attente. Thèse de Magister, Université de Paul Sabatier, Toulouse, 2014.
- [14] F. Khezzari, B. Ladani, Modélisation mathématique et évaluation des performances des réseaux de transport Cas : Transport routier au niveau de l'entreprise EKNTTP, Université de Bejaia, 2016.
- [15] O. Lekadir, Cours de modélisation et évaluation des performances, Master 1 intelligence artificielle, Université de Bejaia, 2016.
- [16] L. Makhoulf et S. Bedder. Modélisation et simulation des mouvements de la navigation au port de Bejaia, Mémoire d'ingénieur, Université de Bejaia, 1998.
- [17] Y. Morère. Réseau de Petri. Cours, France, Avril 2002.
- [18] J. Peter. Stochastic Petri nets Modelling, stability, simulation. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, Edition springer, 2010.
- [19] A. Ruegg. Processus stochastique avec application aux phénomènes d'attente et de fiabilité, école polytechnique romandes édition, 1989.
- [20] G. Saporta. Probabilité analyse des données et statistiques. Edition Technip, 1990
- [21] G. Scorletti, G. Binet.EL401T2 parcours AEII. Cours de Master, Université de Caen Normandie, 2006.
- [22] site web de l'EPB : www.portdebejaia.dz
- [23] M. Slaouti, O. Yanar, Modélisation et simulation du mouvement de la navigation au niveau du port de Bejaia, Université de Bejaia, 2012.