

$$W(\alpha, x, \xi) \Rightarrow \max$$

Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)

Revue Spécialisée de Mathématiques et Applications

« *Mathématiques
industrielles 2 : Retour
d'expérience, fiabilité et
maintenance, Ordonnancement
et gestion des projets,
Evaluation des Performances* »



Avec Hadj Hamitouche, PDG de la Laiterie Soummam lors de l'inauguration de l'Hôtel Atlantis – Iryahen.



Sous la direction du Pr. Djamil Aïssani



Publication et Edition

LaMOSResearch Unit
University of Béjaïa

<http://www.lamos.org>

Volume 21
Béjaïa 2022

ISSN (print): 1112-9433

E – ISSN (online): 2800 - 1214

Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)

Revue Spécialisée de Mathématiques et Applications

« *Mathématiques industrielles 2 :*

*Retour d'expérience, fiabilité et maintenance, Ordonnancement
et gestion des projets, Evaluation des Performances »*

Sous la direction du Pr. Djamil Aïssani

Editions 2021



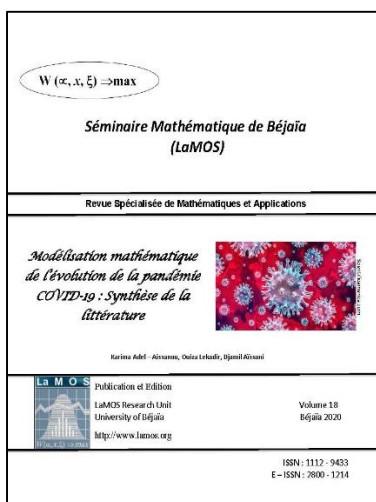
Revue spécialisée de Mathématiques et Applications

ISSN : 1112 – 9433. E – ISSN : 2800 - 1214

La revue «*Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)*» est éditée par l'Unité de Recherche LaMOS – Université de Béjaïa.

University of Bejaia, Targua Ouzamour, 06000, Algeria

E-Mail: lamos_bejaia@hotmail.com



Editor (Directeur de la publication) :

Pr Djamil Aïssani, Director of the Research Unit **LaMOS**

Editorial Board :

Pr Mohamed Saïd Radjef, Chef de la Division, ADRO

Pr Smail Adjabi, Chef de la Division, MS2P

Pr Bibi Mohand Ouamer, Chef de l'équipe OCO

Pr Louiza Bouallouche, Chef de l'équipe EPSIRT

Pr Redouane Laggoune, Chef de l'équipe MSF

Dr Rabah Medjoudj, Chef de l'équipe FSE2

Pr Mohamed Boualem, Chef de l'équipe SR2

Pr Karim Abbas, Chef de l'équipe MAPPS

Dr Fazia Rahmoune, Chef du Département RO

Dr Kamal Kabyl, Responsable du Séminaire SMB

Fondation : année 2002. Dépôt légal : 934 - 2003

Présentation :

La revue «*Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)*» est une revue spécialisée de mathématiques et applications. Fondée en 2002, elle paraît une fois par an.

Elle édite les Comptes Rendus annuels du Séminaire Hebdomadaire de l'Unité de Recherche **LaMOS**. Elle peut également éditer des Actes de congrès, ou bien des monographies.

Depuis sa parution, près de 200 textes ont été édités. Ainsi, cette année 2020, sont parus un numéro spécial sur les «*Les mathématiques, la santé (Covid 19, ...) et autres domaines d'application*» (165 pages) (Volume 18), ainsi que la monographie «*Approximations dans les Modèles Stochastiques*» (245 pages). Les textes sont revus par les membres du comité éditorial.

ISSN : 1112 – 9433. E – ISSN : 2800 - 1214

Copyright : Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)

Date : 2018



Séminaire Mathématique de Béjaïa.

Responsable: Dr Kamal KABYL.

Adresse: Unité de Recherche LaMOS (Modélisation et Optimisation des Systèmes).

Université de Béjaïa, Route Targa Ouzamour, 06000 (Algérie).

Tel/Fax: (213) 34 81 37 09.

E-mail: lamos _ Bejaia@hotmail.com

©Publications de l'Unité de Recherche LaMOS, 2022.

Tous droits de traduction, de reproduction
et d'adaptation réservés pour tous les pays.

ISSN: 1112 - 9433

E - ISSN: 2800 - 1214

Dépôt légal: 934 - 2003

"Mathématiques industrielles 2: Retour d'expérience, fiabilité et maintenance, Ordonnancement et gestion des projets et Evaluation des Performances "

Avant - Propos

Ce volume (numéro 21, année 2022) [3] est le troisième d'une trilogie que nous consacrons aux applications des *Méthodes et des Outils de la Recherche Opérationnelle* pour la prise en charge des problèmes posés par *des entreprises industrielles et des organismes socio-économiques*. Il regroupe onze articles qui concernent les rubriques suivantes: "*Retour d'expérience, fiabilité et maintenance*" (Sonelgaz, Mac Soum, Edemia - ADE, Sonatrach et COGB), "*Ordonnancement et gestion des projets*" (IFRI, Sonatrach) et "*Evaluation des Performances*" (ICOSNET Alger, Cevital et BMT) [3].

Le premier Volume de cette trilogie (numéro 18, année 2020) a consacré la première partie du contenu (05 articles sur 11) aux applications à la Covid19 et aux *systèmes de santé* (Hôpital Khelil Amrane, CHU Béjaia, Cabinet Privé, Urgences de Kherrata et EPB - Port de Béjaia) [2].

Quant au deuxième volume (numéro 20, année 2021) [1], il contient 10 articles qui ont concerné les rubriques suivantes: "*gestion de la production*" (Danone - Djurdjura, Candia - Tchin Lait, Meriplast), "*planification et optimisation de la distribution*" (SDE-Sonelgaz, Ministère de l'Agriculture, Cevital), "*coût et restructuration tarifaire*" (EPB - Port de Béjaia), et enfin "*gestion des stocks*" (Sonatrach, Danone - Djurdjura, IFRI).

Rappelons que 02 volumes de la revue "*Séminaire Mathématiques de Béjaia (LaMOS)*", à savoir les numéros 07, année 2009 [4] et le numéro 19, année 2019 [5] ont été consacrés aux problèmes de transport (trafic routier, maritime, aérien, de canalisation, de données,...), avec comme partenaires le Ministère des Travaux Publics, la Direction des Transports de la Wilaya de Béjaia, l'A.D.A (Algérienne des Autoroutes) et l'AP.C. de Béjaia. De même, le volume 8, année 2009 [5] a été consacré à l'Actuariat et aux Mathématiques Financières, avec comme partenaires : BNA, BADR, CNEP, SAA, CAAT ,...

D'autres problèmes réels sont détaillés dans plusieurs autres publications de l'Unité *LaMOS*, comme par exemple, les livres "*Méthodes et Outils d'Aide à la Décision*" (2022, 811 pages, ISBN: 978-9931-884-15-) [7], "*Evaluation des Performances et Qualité de Service*" (2013, 288 pages, ISBN : 978-9931-9140 - 0 - 6) [8],... avec comme partenaires : Alfaditex, Sonatrach, Naphtal, Général Emballage, Amimeur Energy, Ramdy, ANBT - Barrage de Béni Haroun, CPA, COGB,...

Toutes les références des études que nous avons réalisé en entreprises sont classées dans un livre -synthèse "*Mathématiques industrielles*" (décembre 2022, 750 pages. ISBN : 978-9931-884-14-9.) [9]. Il présente, de manière structurée, 160 problèmes posés au niveau de 60

entreprises industrielles et organismes socio-économiques et résolu en appliquant les *Méthodes et les Outils de la Recherche Opérationnelle*, ainsi que les références des publications notamment dans des chapitres de livres internationaux (voir par exemple [10] pour BMT et [11] pour l'ENIP Skikda, l'EPB et Sonatrach).

Références:

[1] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 18, 2020, 170 pages. ISSN: 1112 - 9433. ("Les Mathématiques, la Santé (Covid 19,...) et autres domaines d'application")

[2] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 20, 2021, 151 pages. ISSN: 1112 - 9433. ("*Mathématiques Industrielles 1: "gestion de la production", "planification et optimisation de la distribution", "coût et restructuration tarifaire" et "gestion des stocks"*")

[3] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 21, 2022, 161 pages. ISSN: 1112 - 9433. ("*Mathématiques Industrielles 2: "retour d'expérience, fiabilité et maintenance", "ordonnancement et gestion de projets", "évaluation de performances"*")

[4] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 8, 2009, 55 pages. ISSN: 1112 - 9433. (Actes du Séminaire Spécialisé International sur le "*Transport: Enjeux et Perspectives*")

[5] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 19, 2019, 116 pages. ISSN: 1112 - 9433. (Actes des Journées d'Etudes MOSIPLIT ", 2018 - 2013 - 2012 *MODélisation et Simulation pour la PPlanification des Infrastructure de Transport*"). ISBN : 978 - 9931 - 884 - 12 - 5.

[6] Revue "*Séminaire Mathématique de Béjaia (LaMOS)*", Volume 7, 2009, 28 pages. ISSN: 1112 - 9433. (Actes du Workshop National "*Actuariat et Mathématiques Financières*")

[7] Actes du **MOAD'2023** [5^{ème} Colloque International "*Méthodes et Outils d'Aide à la Décision*", LaMOS Editions, Béjaia, novembre 2022, 811 pages. ISBN: 978-9931-884-15-

[8] Actes du Workshop International **EPQoS'2013** [Evaluation des Performances et Qualité de Service ", LaMOS Editions, Béjaia, 2013, 288 pages. ISBN: 978-9931-9140 - 0 - 6.

[9] Djamil Aïssani et collaborateurs, "*Les Mathématiques Industrielles dans la Wilaya de Béjaia: 160 problèmes posés au niveau de 60 entreprises industrielles et organismes socio-économiques et résolu en appliquant les Méthodes et les Outils de la Recherche Opérationnelle*", LaMOS Editions, 2022, 750 pages. ISBN: 978-9931-884-14-9

[10] Aïssani D., Adjabi S., Cherfaoui M., Benkhellat T. and Medjkoune N., *Forecast of the Traffic and Performance Evaluation of the BMT Container Terminal (Bejaia's Harbor)*, In the

Book "Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset, Springer Verlag Ed. (Germany), 2009, pp. 53 - 64. doi:10.1007/978-1-84882-748-6 (voir également le chapitre dans le livre " *Rapid Modelling and Quick Response. Interaction of Theory and Practice*", 2010). http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84882-748-6_5

[11] Laggoune R. et Aïssani D. *Repeat Failure Analysis for Oil Refinery Maintenance Optimization: case study of Skikda Refinery Compressing Magnaforming*. In the Book *Mathematical Methods in Reliability*, Proceedings of the International Conference **MMR'2000**, Bordeaux, July 2000, Vol. 2, pp. 671 - 674. (voir également les 02 autres articles dans le volumes 02).

Contents

<i>"Mathématiques industrielles 2: Retour d'expérience, fiabilité et maintenance, Ordonnancement et gestion des projets et Evaluation des Performances "</i>	3
--	---

Part I Retour d'expérience, Fiabilité et Maintenance

1 Approche semi-Markovienne pour la diminution du Temps Equivalent Coupure (TEC) <i>Omar Maïga A., Aidli A., Aïssani D. et Medjoudj R.</i>	11
2 Etude de la fiabilité et de la disponibilité des équipements au niveau de l'entreprise MAC-SOUM <i>Chahboune S., Hammou R., Anzi A. et Aïssani D.</i>	21
3 Experience Fastback analysis for Maintenance Optimization at the Stations and Drilling of AEP-Bejaïa's Network <i>Boussouira H., Chachoua L. et Aïssani D.</i>	33
4 Analyse du retour d'expérience pour la planification de la maintenance Cas de l'oleoduc OB1 HeH-Bejaia <i>Kennouche A., Mammasse N., Aïssani D. et Saigh S.</i>	53
5 Optimisation de la Maintenance Préventive du Système du Parc de Stockage : Sonatrach-TRC- RTC Béjaia <i>Adel-Aïssanou K., Aïssani D., Arkoub T. et Cherfaoui L.</i>	65
6 Disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise des corps gras de Béjaia COGB <i>Anzi A., Touche N., Aïssani D. et Bouraine M.</i>	77

partie II Ordonnancement et gestion des projets

7 Ordonnancement et Affectation des tâches du cycle de production : Cas de l'entreprise IFRI <i>Kartout K., Kadri S., Aoudia Z. et Aïssani D.</i>	99
---	----

8 Scheduling and planning the project of rehabilitation and upgrading the installations in the oil port of Bejaia, Algeria.
Makhloufi S., Boudjadja C. et Aïssani D. 109

partie III Evaluation des performances

9 Modélisation et Evaluation de Performances de la Solution Cloud Computing de l'entreprise ICOSNET Alger
Outamazirt A., Dehdouh A., Drizi F., Aïssani D. et Bouallouche-Medjkoune L. 123

10 Evaluation des performances de la nouvelle Zone Extra Portuaire "ZEP-Plein" de BMT et son Impact sur la congestion du Parc
Mebarki S., Zitouni M., Rahmoune F. et Aïssani D. 139

Index 161

Retour d'expérience, Fiabilité et Maintenance

1

Approche semi-Markovienne pour la diminution du Temps Equivalent Coupure (TEC)

Omar Maïga A., Aidli A., Aissani D. et Medjoudj R.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé L'objet de cette communication est de diminuer le temps équivalent coupures (TEC) dans un réseau électrique de distribution. C'est un paramètre très important de la norme ISO. Il est étroitement lié à la fiabilité du réseau puisqu'il fait intervenir le temps de coupure. Il s'agit d'élaborer un plan de maintenance adéquat pour chaque départ en se basant sur une nouvelle approche d'évaluation des indices de fiabilité à savoir, le modèle de Weibull Markov ; puis de proposer des actions en vue de la diminution de ce paramètre.

Une application au réseau 60/30 Kv de Béjaïa (Algérie) a été réalisée.

Mots clés : Fiabilité électrique, Indice de fiabilité, Modèle semi-Markovien, Modèle de Weibull-Markov, Distribution de la durée d'état, TEC (Temps Équivalent Coupure).

1.1 Introduction

Les nouvelles règles du marché appellent non seulement des innovations technologiques, mais également une adaptation des technologies existantes. Pour garder son image et assurer la qualité de service, la Société Algérienne de l'Electricité et de Gaz, Sonelgaz a mis en œuvre un contrat de performance ayant pour objectif principal d'atteindre les normes internationales à l'horizon 2005. Il s'agit notamment d'atteindre les performances suivantes : [9], [5] :

- Pertes d'électricité : moins de 10% ;
- Nombre d'incidents par 100 Km : moins de 4 ;
- Nombre d'ouvertures disjoncteurs par 100 Km : moins de 60 ;
- Avaries transformateurs : moins de 0.80 ;

Pour cela, il suffit de réduire le TEC (Temps Equivalent Coupure) au plus à 5 heures. Ceci va non seulement permettre d'atteindre les normes *ISO*, mais également de diminuer le taux de perte. En effet ce taux de perte est un problème majeur de Sonelgaz malgré les efforts fournis.

Le TEC est étroitement lié à la fiabilité du réseau puisqu'il fait intervenir le temps de coupure. En effet, nous nous intéressons à ce paramètre parce qu'au-delà de la réduction du TEC, il permet la réduction du CAIFI, CAIDI, SAIDI et SAIFI [1]. Nous faisons abstraction des autres paramètres tels que la puissance installée, la puissance mise à disposition et l'énergie vendue ; car ce sont des paramètres liés plus ou moins aux effets de coupures.

La théorie de la fiabilité a pour objectif l'étude de la probabilité de défaillance d'un système. Elle revêt un intérêt tant sur le plan économique et scientifique que sur le plan technique et industriel. Elle est étroitement liée aux notions de sécurité de fonctionnement, de qualité, d'efficacité et de performance [3], [4].

1.2 Présentation du réseau MT/BT de Béjaia

Le réseau sur lequel porte notre étude est constitué de dix départs (Ville1, Ville2, Ville3, Zone1, Tichy, Zone2, SOPEG, SNIB, Elkseur, ENCG). Toutes les interruptions dont la durée est supérieure à 2 minutes sont répertoriés dans une Fiche Interruptions Électriques (FIE). Lors d'une interruption, la recherche de défaut se fait d'abord par la détection du segment en défaut, puis la localisation de l'endroit du défaut.

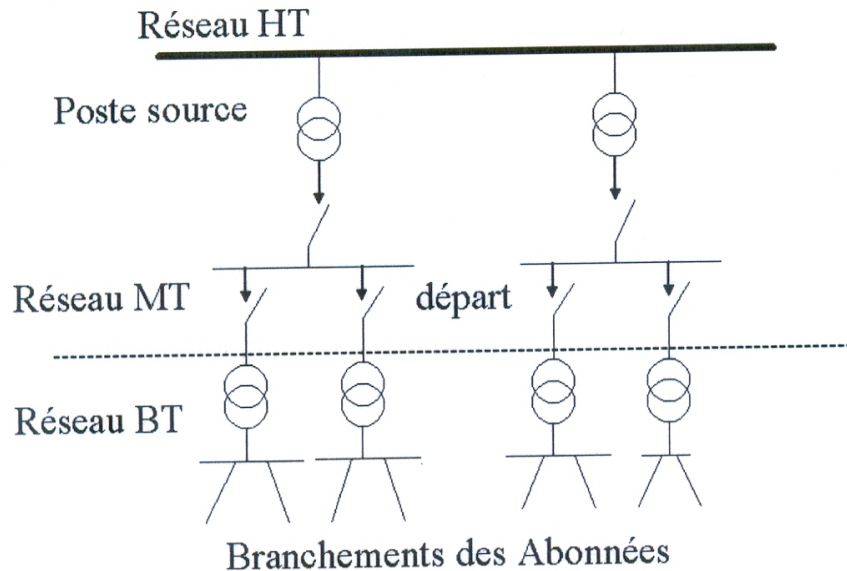


FIGURE 1.1. Présentation du réseau

1.3 Temps Equivalent Coupure et indice de fiabilité

Le TEC est un paramètre très important de la norme ISO qui se calcule par la formule suivante [2] :

$$TEC = \frac{(M * Ev_{MT} + B + Ev_{BT})}{(Ev_{MT} + Ev_{BT})} \quad (1.1)$$

Il fait intervenir plusieurs autres paramètres tels que :

- Ev_{MT} : Energie MT vendue pendant cette période ;
- Ev_{BT} : Energie BT vendue pendant cette période ;
- $M = \sum_{i \geq 1} \frac{P_{mdi} * T_i}{P_{MD}}$ avec :
- P_{mdi} : Puissance mise à la disposition des clients MT coupés pour chaque coupure i ;
- T_i : Temps de coupure de chaque client MT pour chaque coupure i ;
- P_{MD} : Puissance mise à disposition totale des clients MT de l'agence ou du centre ;
- $B = \sum_{i \geq 1} \frac{P_{ii} * T_i}{P_I}$ avec.
- P_{ii} : Puissance Installée des postes MT/BT pour chaque coupure i ;
- T_i : Temps de coupure de chaque client BT pour chaque coupure i ;

- P_I : Puissance totale installée des postes : MT/BT alimentant l'agence ou le centre.

Réduire le TEC revient à réduire les deux paramètres M et B. Du fait que : $E_{V_{MT}}$, $E_{V_{BT}}$, P_{mdi} , P_{MD} , P_{ii} et P_I sont des valeurs fixées, cela revient à réduire le temps d'interruption totale de chaque abonné. En d'autre terme, augmenter le temps de bon fonctionnement des départs alimentant chaque abonné ; donc apprécier sa fiabilité.

1.4 La méthode de Weibull Markov

Elle est basée sur l'application d'une approche semi-Markovienne (modèle de Weibull Markov). C'est un modèle qui utilise le même principe que celui de Markov sauf que la distribution exponentielle est altérée par celle de Weibull.

Un composant de Weibull Markov est défini par [6] :

1. L'ensemble des états possibles : $E = 1, 2, \dots, N$ où N est le nombre des états possibles
2. La durée de vie stochastique : $(X_{c,n}, T_{c,n})_{n=0}^{\infty}$ où :
 - $\forall n, (X_{c,n} \in E, X_{c,n} \neq X_{c,n} + 1)$;
 - $T_{c,0} = 0$ et $\forall n; (T_{c,n+1} > T_{c,n})$;
3. $F_{c,ij}(t)$ l'ensemble des fonctions de répartition des durées de transition $D_{c,ij}$.

$$\begin{aligned} F_{c,ij}(t) &= P(D_{c,ij} \leq t) \\ &= P(X_{c,n+1} = j, (T_{c,n+1} - T_{c,n}) / X_{c,n} = i) \\ &= 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta_{c,ij}}\right)^{\beta_{c,ij}}\right) \end{aligned}$$

Où :

η est le paramètre échelle du composant "c" suivant la loi de Weibull ;

β est le paramètre forme du composant "c" suivant la loi de Weibull ;

La matrice de probabilité de transition peut être déduite comme suit :

$$\begin{aligned} P_c(i, j) &= P\left(D_{c,ij} = \min_{k=1}^N (D_{c,ik})\right) \\ &= \int_0^{\infty} P\left(\min_{k \neq j} (D_{c,ik}) \geq \nu\right) \frac{\beta_{c,i} \nu^{\beta_{c,i}-1}}{\eta_{c,ij}^{\beta_{c,i}}} e^{-(\nu/\eta_{c,ij})^{\beta_{c,i}}} d\nu \\ &= \int_0^{\infty} \frac{\beta_{c,i} \nu^{\beta_{c,i}-1}}{\eta_{c,ij}^{\beta_{c,i}}} e^{-(\nu/\eta_{c,i})^{\beta_{c,i}}} d\nu \\ &= \frac{\eta_{c,i}}{\eta_{c,ij}} \end{aligned} \tag{1.2}$$

Les probabilités d'état d'un composant de Weibull Markov peuvent être calculées comme suit :

$$P(i) = \frac{\pi(i) \cdot E(D_i)}{\sum_{i=1}^N \pi(i) \cdot E(D_i)} \tag{1.3}$$

La fréquence est calculée par :

$$F(i) = \frac{P(i)}{E(D_i)} \quad (1.4)$$

Où

$E(D_i) = \eta_i \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta_i}\right)$ est la durée moyenne de l'état i .

$\pi(n) = (P(X_n = 1), P(X_n = 2), \dots, P(X_n = N))$ est le vecteur probabilité d'état de la chaîne.

Un système de Weibull Markov est une combinaison de composants de Weibull Markov. Il est défini par :

- M : Le nombre de composants de Weibull Markov ;
- L'ensemble des composants de Weibull Markov : $((X_{c,n}, T_{c,n})_{n=0}^{\infty})_{c=1}^M$
- La vie stochastique du système, $(S_{n_s}, T_{n_s})_{n=0}^{\infty}$

Où : Comme tous les composants sont supposés indépendants et en série, la probabilité d'états du système est le produit des probabilités d'état des composants :

$$P(s, t) = \prod_{c=1}^M P(X_c(t) = x_c) \quad (1.5)$$

La fréquence d'état s du système s'écrit :

$$F(s, t) = P(s, t) \cdot \sum_{c=1}^M \frac{F(x_c, t)}{P(x_c, t)} \quad (1.6)$$

La fréquence et la probabilité d'état du système seront également indépendantes du temps.

$$P(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(s, t) = \prod_{c=1}^M P(x_c) \quad (1.7)$$

$$F(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} F(s, t) = P(s) \cdot \sum_{c=1}^M \frac{F(x_c)}{P(x_c)} \quad (1.8)$$

1.5 Modélisation du plan de maintenance

L'idée est alors de modéliser le temps de première panne TTFF (Time To First Failure) en fonction des périodes de maintenance.

La maintenance idéale est exécutée à des intervalles équidistants, réguliers, elle n'a aucune durée et reconstitue le composant à un état "as good as new" [7], [10], [4]. Une réparation idéale n'a également aucune durée, et reconstitue le composant à un état "as good as new". On suppose que l'on a un composant pour lequel, on connaît la fonction densité de probabilité du TTF (Time To Failure). On peut effectuer une maintenance préventive idéale à des intervalles fixes T_M , et calculer la nouvelle fonction densité de probabilité du TBF du composant entretenu. La densité de probabilité du TTFF pour la période allant de la première maintenance, $f_1(t)$ a la même valeur que la densité de probabilité initiale parce que la maintenance n'a rien changé encore :

$$f_1(t) = \begin{cases} f_T(t) & \text{si } 0 < t \leq T_M \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (1.9)$$

Notons que $f_l(t)$ n'est pas une fonction distribution de probabilité parce qu'elle décrit seulement la distribution dans la première période et $\int_0^\infty f_1(t)dt$ sera par conséquent inférieure à 1. La probabilité de survie jusqu'à la date $t = T_M$ est $R_T(T_M)$. C'est aussi la probabilité pour que le composant tombe en panne à $t > T_M$ si une maintenance n'aurait pas été effectuée. Puisque la maintenance idéale n'a aucune durée, cette probabilité résiduelle est répartie sur tous les intervalles $t > T_M$. La forme de la distribution est encore identique à l'originale parce que la maintenance est une réparation "as good as new". La distribution de probabilité pour la deuxième période sera par conséquent :

$$f_2(t) = \begin{cases} R_T(T_M)f_1(t - T_M) & \text{si } T_M < t \leq 2T_M \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (1.10)$$

La solution générale est réalisée en répétant ceci pour $t = KT_M$ avec $K \in N+$

$$f_2^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} R_T^k(T_M)f_1(t_k T_M) \quad (1.11)$$

Où

$f_T^*(t)$ est la fonction distribution de probabilité du TTFE en fonction des périodes de maintenances.

En utilisant (9) on aura :

$$\int_0^{T_M} f_T^*(t)dt = \int_0^{T_M} f_T(t)dt = F_T(T_M) \text{ Et par conséquent,}$$

$$\begin{aligned} \int_0^\infty f_T^*(t)dt &= \sum_{k=0}^{\infty} R_T^k(T_M)F_T(T_M) \\ &= F_T(T_M) \sum_{k=0}^{\infty} (1 - F_T(T_M))^k \\ &= 1 \end{aligned}$$

Donc $f_T^*(t)$ est une distribution de probabilité.

1.6 Application au réseau de distribution de Béjaia

1.6.1 Calcul des indices de Fiabilité

L'application de cette méthode nécessite l'utilisation de deux types de données :

- Données de Sonelgaz : Qui sont les fréquences et les temps de coupures de chaque départ du réseau, étalés sur une durée de vingt ans (1981-2001). Elles sont évaluées d'après les manœuvres effectuées par le personnel de Sonelgaz.
- Données internationales ; représentées par :
 - Le taux de défaillance de chaque départ du réseau ;
 - Le taux de remise en service.

Ces données ont été estimées suite à un traitement statistique de données de Sonelgaz.

A - Cas de la ville 1

Nous avons modélisé la distribution du TTFF en fonction de la maintenance. L'équation (11) qui en dérive nous a permis de construire un graphe évoluant en fonction de la période de maintenances (voir figure 2).

Le principe étant de lancer une maintenance préventive alors que le départ est à sa fiabilité maximale. À l'intersection de la courbe de distribution du TTFF initiale et celle avec la maintenance idéale, le départ est pris en charge par la maintenance qui prolonge le TTFF. Ainsi, à partir d'une certaine période, nous remarquons que cet accroissement est insignifiant. Il est préférable alors d'arrêter la maintenance et de procéder à la réparation idéale de la panne. Pour le cas de la ville 1, d'après la figure (3) qui décrit la courbe du TBF. Le plan de maintenances suivant est élaboré :

1. Avec la méthode de Weibull Markov :

	Fiabilité	MTBM	Proba maint	Proba panne	MTBF
Maintenance 0	0.497	0	0	0.50	554.72
Maintenance 1	0.477	4572.980	0.522	0	4186.929
Maintenance 2	0.646	3094.094	0.353	0	5665.782
Maintenance 3	0.733	2338.003	0.266	0	6421.859
Maintenance 4	0.785	1878.885	0.214	0	6880.976

TABLE 1.1. Méthode de Weibull Markov

Ce plan prolonge le MTBF de 554.723 h à 6880 h soit une augmentation de la fiabilité de 0,497 à 0,785.

2. Avec la méthode de Markov

	Fiabilité	MTBM	Proba maint	Proba panne	MTBF
Maintenance 0	0.49	0	0	0.50	4459.20
Maintenance 1	0.50	4379	0.499	0	4380
Maintenance 2	0.33	5839	0.66	0	2920
Maintenance 3	0.25	6569.97	0.749	0	2190.03
Maintenance 4	0.20	7299.83	0.799	0	1752

TABLE 1.2. Méthode de Markov

3. Interprétation

Le modèle homogène modélise la combinaison de processus de panne et de maintenance préventive. Mais ne peut pas être utilisé pour déterminer les effets d'un changement de plan de maintenance, car quand on utilise un TBF distribué de façon homogène pour un composant, une additionnelle modélisation de la maintenance n'affectera pas la fréquence de panne. On déduit alors que la maintenance additionnelle augmentera seulement l'indisponibilité du composant. Tous ces effets abaissent le rendement de la fiabilité et seulement la maintenance qui a été effectuée pendant la mesure des données de pannes peut être modélisée.

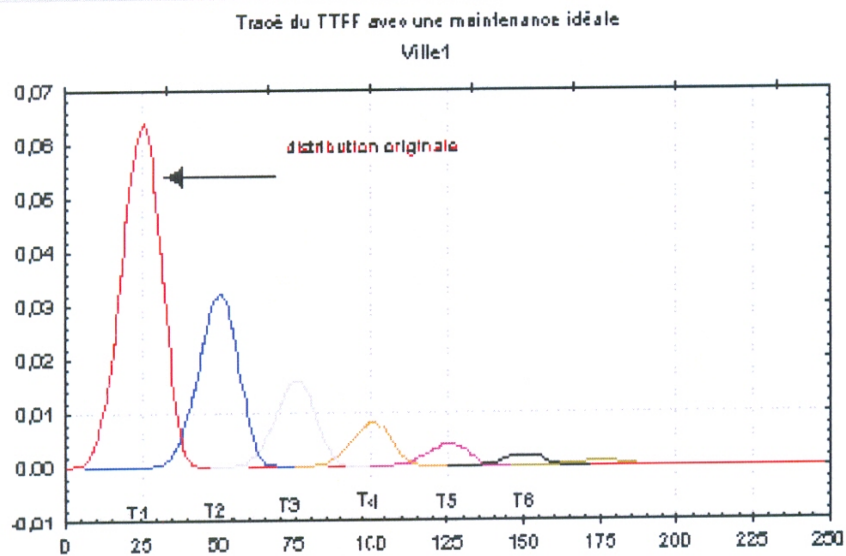


FIGURE 1.2. Graphe du TTF avec maintenance idéale : Ville1

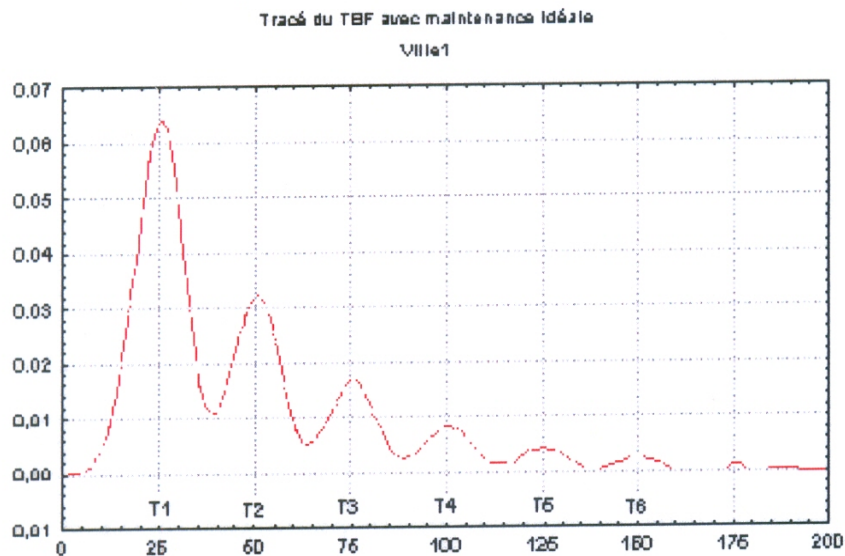


FIGURE 1.3. Graphe du TBF avec maintenance idéale : Ville1

B - Cas du réseau entier

Le tableau suivant résume le plan de maintenance adéquat pour chaque départ.

Nous remarquons qu'en moyenne, pour prolonger le MTBF de 6500 h, Il faut au moins 3 maintenances pour chaque départ.

1.7 Actions en vue de la réduction du TEC

Plusieurs actions en vue de réduire le temps équivalent coupures peuvent être mise en œuvre. Parmi elles :

Départ	Nbre de maint	Fiabilité	MTBM	Proba maint	MTBF
Ville 1	4	0,785	1878.885	0.214	6880.976
Ville2	4	0.771	1997.694	0.228	6761.622
Ville3	4	0.767	2035.703	0.232	6293.568
Zone1	3	0.742	2255.709	0.257	6504.169
Zone2	3	0.740	2270.468	0.259	6489.118
Tichy	4	0.778	1939.527	0.221	6820.363
SOPEG	3	0.716	2476.259	0.283	6280.130
SNIB	3	0.671	2875.013	0.328	5883.124
Elkseur	3	0.725	2408.372	0.274	6351.366
ENCG	3	0.718	2467.999	0.281	6289.868

TABLE 1.3. Plan de maintenance adéquat

- Équiper les départs d'automates dotés de mémoire (Oscultateurs, Lapin, ...). L'utilisation de ce procédé permet aux agents de maintenance de mieux cibler les zones à risque du départ.
- Veiller à une bonne formation de tout le personnel jusqu'aux ouvriers.
- Inciter le travail en groupe pour faire tomber les barrières entre équipes.
- Entreprendre des actions reposant sur des connaissances et des données.
- Créer des unités spécialisées dans la maintenance électrique : Ce sont les monteurs électriciens.
- Installer des radios au niveau de tous les districts.
- Prévoir un stock en accessoire au niveau des districts.
- Généraliser l'installation des automates sur l'ensemble du réseau.
- Doter les districts de véhicules tous-terrains.
- Prévoir un stock de sécurité de transformateurs au niveau des districts (au moins un par district).
- Rendre opérationnel la totalité des interrupteurs télécommandés installés.
- Gérer de façon automatique les réseaux par l'installation d'un Bureau Central de Conduite (BCC), qui nous permet de télécommander les départs, de repérer la panne et de vite rétablir les clients quand la panne est réparée.

Néanmoins toute décision d'investissement doit être précédée d'une étude technico-économique [8]

1.8 Conclusion

Derrière ces résultats, il faudrait noter que la diminution du temps de coupures en général et du TEC en particulier afin de rentrer dans la norme ISO doit se faire suivant un processus itératif. En effet, il est clair que pour entrer dans la norme ISO, la fiabilité de chaque composante doit être au moins égale à 99% [9]. Notre proposition est la suivante : 3 à 4 maintenances pour chaque départ ce qui prolongera la durée moyenne de bon fonctionnement de chaque départ à environ 7000 heures par an ; soit plus ou moins une fiabilité de 80%. Néanmoins, les décideurs peuvent mettre les moyens qu'il faut pour améliorer cette fiabilité.

Références

1. *Critères de L'UNPEDE*. EPIC Sonelgaz, Direction de la distribution, Division exploitation, Mai 1998.
2. *Cuide du Suivi des Interruptions Electriques CDO/MT*. Sonelgaz, Direction de la distribution, Mars 2001.

3. A. Aissani. *Modèles Stochastiques de la Théorie de Fiabilité*. OPU, 1992.
4. D. Aissani. Quelques questions de maintenances des équipements. *Revue de la maintenance*, 4 : 24-30, 1989.
5. O. Boudjemaa. *Rapport de tournée d'information d'ingénieur d'état Cames*. EPIC Sonelgaz, 2002.
6. J.V. Casteren. *Power System Reliability Assessment using the Weibull-Markov Model*. Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden, Licenciate Thesis, 2001.
7. J.V. Casteren. *Assessment of Interruption Costs in Electric Power Systems using the Weibull-Markov Model*. Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Cöteborg, Sweden, Doctor Thesis, 2003.
8. R. Medjoudj. *Calcul et Evaluation de la Fiabilité d'un Réseau Electrique Urbain*. Thèse de Magistère, Université de Béjaia, 1994.
9. Contrat de Gestion DG-XD2002 Note pour les Zones de Distribution, editor. *Elabration des plans triennaux 2003-2005*. Direction de la distribution, Alger, Sonelgaz, Avril 2002.
10. C. Singh and R. Billinton. *System Reliability and Modelling Evaluation*. Hutchinson of London, 1977.

Etude de la fiabilité et de la disponibilité des équipements au niveau de l'entreprise MAC-SOUM

Chahboune S., Hammou R., Anzi A. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé Ce travail consiste à étudier la disponibilité des équipements d'un atelier de montage dans une entreprise de production et commercialisation de chaussures. Pour cela, nous étudions leur fiabilité et leur maintenabilité. Cette étude est basée sur un traitement statistique des données collectées et nécessite l'application de modèles d'ajustement.

Mots clés : Entreprise Mac Soum, Equipements, Fiabilité, Disponibilité.

2.1 Introduction

MAC-SOUM (Manufacture de chaussures de la Soummam) d'Akbou, une société par action issue de la filiation de l'ex-EMAC, figure parmi les rares entités économiques du secteur public à maintenir l'activité et à produire de la valeur ajoutée en Algérie. La politique globale de l'entreprise est à prédominance productive. Tous ces efforts sont concentrés sur la production sans donner suffisamment d'importance à la maintenance. Ce qui explique l'absence dans cette entreprise d'une politique de maintenance performante.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'atelier de montage B, qui est d'une importance majeure pour l'entreprise. Son rôle fondamental consiste au montage de deux types de chaussures de sécurité (montage par injection et good year).

Notre travail consiste à calculer en premier lieu la fiabilité, puis la maintenabilité afin de déterminer la disponibilité des équipements de l'atelier de montage B. Un traitement statistique des données du retour d'expérience des équipements, issus de la zone A de la courbe de Pareto, permet d'évaluer la fiabilité et la maintenabilité de ces derniers. Il s'agit de choisir les modèles d'ajustements, puis de les valider en appliquant les tests adéquats. Ce traitement a pour objectif dans un premier temps, de connaître le comportement des équipements issus de la zone A de la courbe de Pareto qui sont responsables de l'immobilisation de l'atelier de montage B, les équipements identifiés constituent les éléments de notre système.

2.2 Collecte des données et Choix de la chaîne à étudier

L'analyse de fiabilité en exploitation consiste à recueillir des données de défaillance et à les exploiter de manière statistique afin de connaître les indices de fiabilité. La présente étude est basée sur les données qui s'étalent de 02/01/2010 au 30/04/2016. La source essentielle de ces données est les " bons de travail " qui donnent un résumé sur les défaillances (date et heure d'arrêt, heure début et fin de réparation, le temps d'intervention...). En ce qui concerne la chaîne à étudier, en consultant le personnel de l'entreprise, notre choix a porté sur la chaîne de montage

B qui comprend environ 150 machines fonctionnelles. Cette chaîne est très importante en termes de la nécessité de produits fabriqués et des temps d'immobilisation qu'elle cause.

Type	désignation
401 S – 04	Convoyeur de montage
413-02	M/C à afficher les premières
510-03	Presse à souder les semelles
538-04	M/C à encoller les semelles
756 S-05	M/C à encoller les semelles
756 - 06	M/C à encoller les semelles
409-03	M/C à galber les contreforts
G79-06	M/C à carder et verrier les tiges
G79-05	M/C à carder et verrier les tiges
566-06	Machine pour déformer
K58-08	M/C à monter les emboîtages
K78-01	M/C à monter les bouts
K78-07	M/C à monter les bouts
427 – 01	M/C à monter les bouts
427-08	M/C à monter les bouts
MF80-04	M/C à monter les flancs
MF80-06	M/C à monter les flancs
522-02	M/C à réactiver au flash
489-02	M/C à réactiver et galber
Vp35-08	M/C injection direct sur tiges
Vp35-03	M/C injection direct sur tiges
03030/P4-01	Machine de piquage GOOD-YEAR
03030/P4-02	Machine de piquage GOOD-YEAR.
RIB 14-02	Machine rotative pour rabattre la trépointe
SILPAR-STNOVA-01	Machine à fraiser les semelles et tiges
SILPAR-STNOVA-02	Machine à fraiser les semelles et tiges

TABLE 2.1. Inventaire des équipements de la chaîne à étudier

2.2.1 Schéma de la chaîne de montage B

La figure 6.1 représente les différents équipements de la chaîne de montage B ainsi que leurs positions dans le processus de montage.

2.2.2 Sélection des équipements à étudier

Vu le nombre important des machines qui composent la chaîne B, l'étude statistique de chacune d'elles se révélera très longue. Il convient alors de cibler seulement les équipements critiques. Pour orienter notre étude, on s'est basé sur le critère " temps d'immobilisation ". A cet effet, on a effectué une analyse ABC (Pareto) pour déterminer la classe d'équipements qui, pendant une année (du 01/04/2015 au 30/04/2016), a engendré le temps d'immobilisation le plus élevé. Les résultats de l'analyse ABC nous ont permis d'identifier les équipements qui, avec 37.6% de pannes, causent plus de 60% des temps cumulés d'immobilisation (voir tableau 5.4). Ces équipements doivent donc faire l'objet d'un traitement particulier.

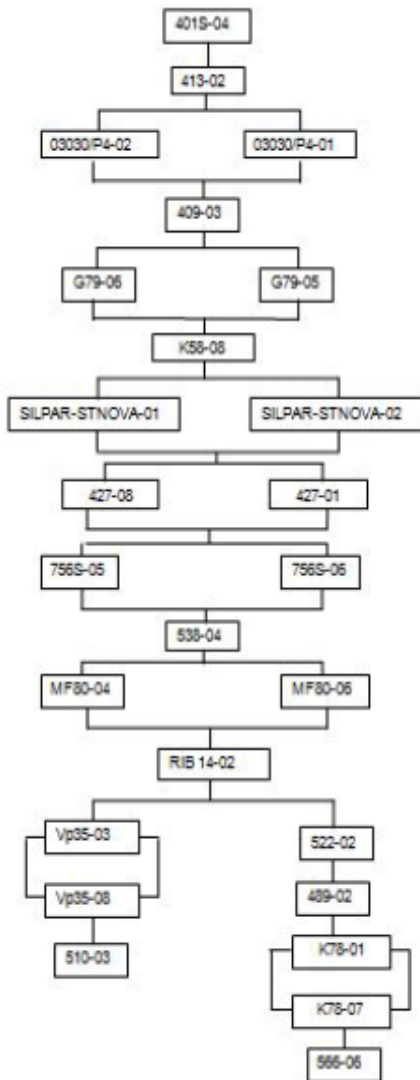


FIGURE 2.1. Schéma des équipements

Type	désignation
MF80-04	M/C à monter les flancs
MF80-06	M/C à monter les flancs
K78-01	M/C à monter les bouts
K78-07	M/C à monter les bouts
489 – 02	M/C à réactiver et galber

TABLE 2.2. Equipements à étudier

2.3 Modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements

Il est naturel de chercher à ajuster un échantillon aléatoire par des distributions théoriques, vu les significations et les interprétations apportées par ces distributions. Pour notre étude, cette démarche commence par une hypothèse que la variable aléatoire X " durée de vie " obéit à un modèle d'usage courant, celui de Weibull, qui permet de prendre compte des différentes formes de la fonction taux de défaillance ; ou une distribution exponentielle qui est utilisée à chaque fois qu'il s'agit de modéliser une durée de vie associée à un processus de défaillance sans mémoire, c'est-à-dire, un processus dans lequel le nombre de défaillance sur un intervalle du temps est indépendant du choix de l'intervalle.

L'estimation des paramètres de chaque modèle a été réalisée par la méthode de maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel de statistique R. R est à la fois un logiciel et un langage qui permet d'appliquer les techniques d'ajustement avec les lois paramétriques. Il permet de valider les modèles obtenus grâce aux tests classiques d'adéquation comme le test de " Kolmogorov-Smirnov ". Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.1, où

n : Taille de l'échantillon.

β : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

η : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull.

D_c : Statistique empirique du test de Kolmogorov-Smirnov.

$D_{(n,0.05)}$: Statistique tabulée de test Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de signification égal à 0.05

Il convient de noter que la variable à ajuster est le temps de bon fonctionnement (TBF) et que les données prises sont complètes (non censurées) car on dispose d'un nombre suffisant de données.

Equip	n	loi ajustée	Paramètres	D_c	$D_{(n,0.05)}$
MF80-06	120	Weibull	$\beta = 1.505, \eta = 9304$	0.052	0.1241
		Exponentielle	$\lambda = 0.00012$	0.140	
K78-07	134	Weibull	$\beta = 1.875, \eta = 8461$	0.0566	0.1174
		Exponentielle	$\lambda = 0.000134$	0.2135	
489 - 02	137	Weibull	$\beta = 1.796, \eta = 8323$	0.0634	0.1161
		Exponentielle	$\lambda = 0.000136$	0.1802	
K78-01	148	Weibull	$\beta = 1.716, \eta = 7615$	0.063	0.1117
		Exponentielle	$\lambda = 0.000147$	0.2057	
MF80-04	140	Weibull	$\beta = 1.850, \eta = 8134$	0.0541	0.1149
		Exponentielle	$\lambda = 0.000139$	0.3297	

TABLE 2.3. Résultats de la modélisation paramétrique de la fonction de fiabilité

2.4 Modélisation non paramétrique

Afin de confirmer les résultats obtenus par la méthode paramétrique et à cause du fait que pour tous les équipements le paramètre de forme du modèle de Weibull est supérieur à 1 et que le modèle exponentiel n'est pas validé, on utilise l'analyse non paramétrique, en particulier le test graphique basé sur la TTT-statistique, qui donne des propriétés qualitatives, à partir desquelles on se prononcera sur l'appartenance de la distribution F à une classe d'âge (IFR, DFR).

Les graphiques des figures 2.2 et 2.3 illustrent l'allure du nuage des points $\left(\frac{i}{r}, \frac{S(t_i)}{S(t_R)}\right)$ pour les différents équipements et les résultats du test graphique sont résumés dans le tableau 2.4

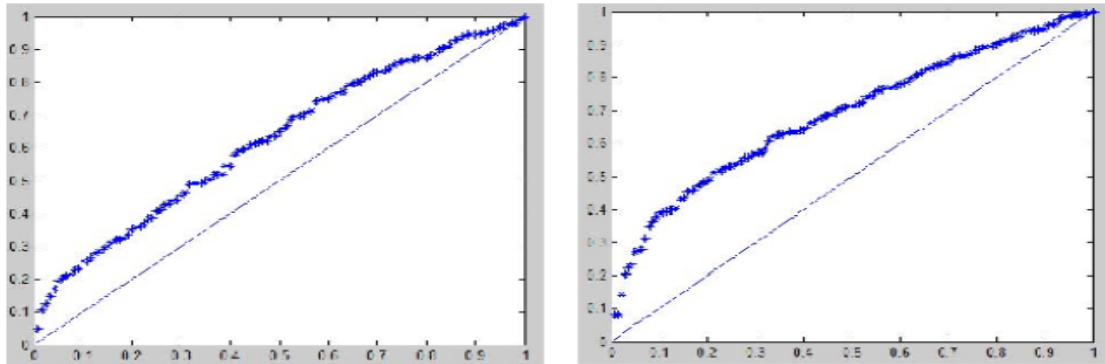


FIGURE 2.2. Test graphique pour MF80-04, MF80-06

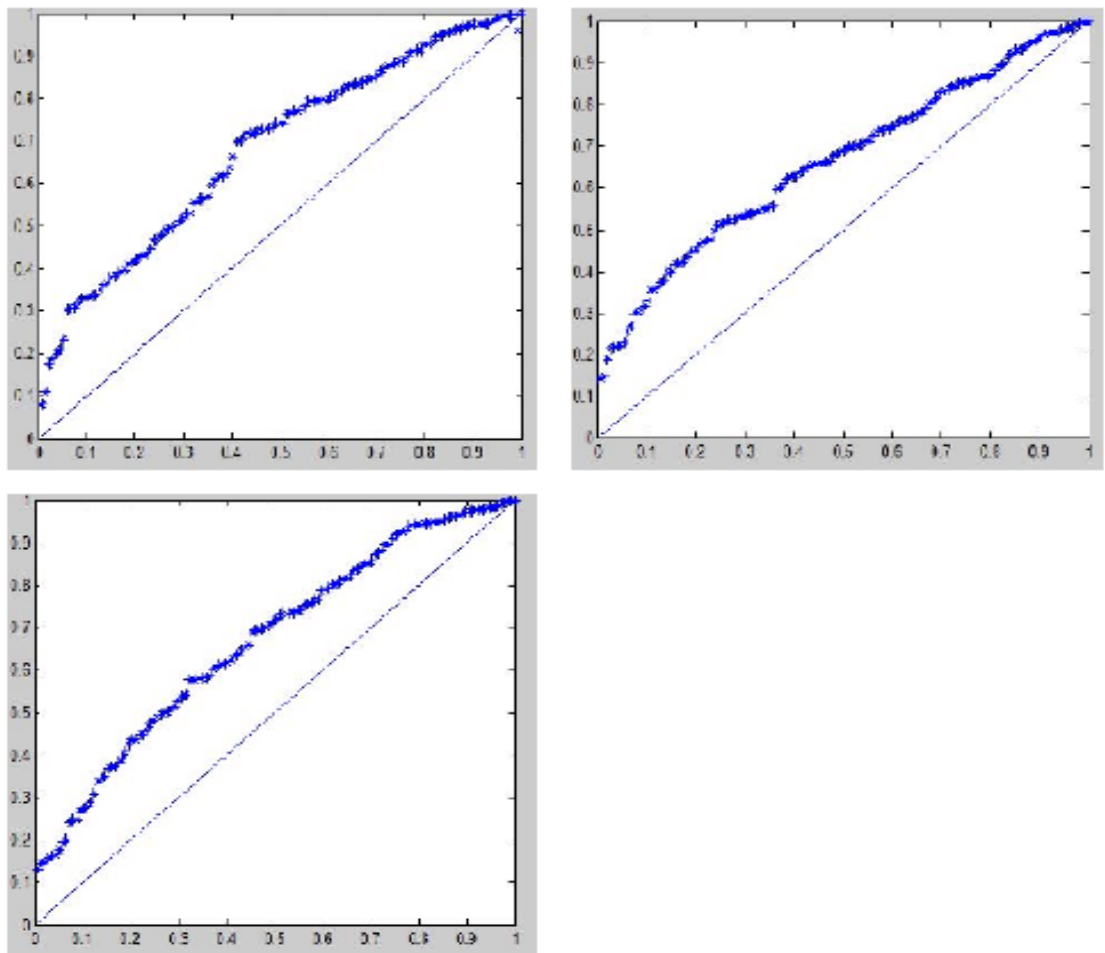


FIGURE 2.3. Test graphique pour K78-01, K78-07 et 489-02

Equip	n	Allure de la courbe de tendance	modèle	taux de défaillance
MF80-04	140	Concave	IFR	Croissant
MF80-06	120	Concave	IFR	Croissant
K78-01	148	Concave	IFR	Croissant
K78-07	134	Concave	IFR	Croissant
489-02	137	Concave	IFR	Croissant

TABLE 2.4. Résultats du test graphique

2.5 Comparaison des résultats

D'après les résultats obtenus, on remarque l'homogénéité (concordance) entre les résultats obtenus de la modélisation paramétrique et ceux non paramétrique du fait qu'ils se rejoignent dans la description du type de défaillance.

Pour les équipements MF80-04, MF80-06, K78-01, K78-07 et 489-02, le paramètre de forme β du modèle de Weibull est supérieur à 1. Son taux de défaillance est donc croissant, ce qui correspond à la loi IFR trouvée par les tests graphiques.

2.6 Indices de fiabilité

On peut comparer la fiabilité des équipements en comparant les moyennes du temps de bon fonctionnement (MUT). On dira qu'un système est plus fiable qu'un autre si son MUT est plus grand.

Le tableau 2.5 présente le classement décroissant des équipements par leur MUT.

Equip	Paramètre du Weibull	$MUT_w(mn)$
MF80-06	$\beta = 1.505, \eta = 9304$	8382.90
K78-07	$\beta = 1.870, \eta = 8461$	7504.9
489-02	$\beta = 1.796, \eta = 8323$	7390.82
MF80-04	$\beta = 1.850, \eta = 8134$	7222.99
K78-01	$\beta = 1.716, \eta = 7615$	4437.64

TABLE 2.5. Classement des équipements

Les courbe de fiabilité et le taux de défaillance sont représentés dans les figures 2.4 et 2.5 respectivement.

2.7 Modélisation de la maintenabilité

On présente dans ce paragraphe la modélisation des temps de réparation. On a choisi comme loi d'ajustement celle de log-normale et Gamma. Elles sont généralement représentative de la

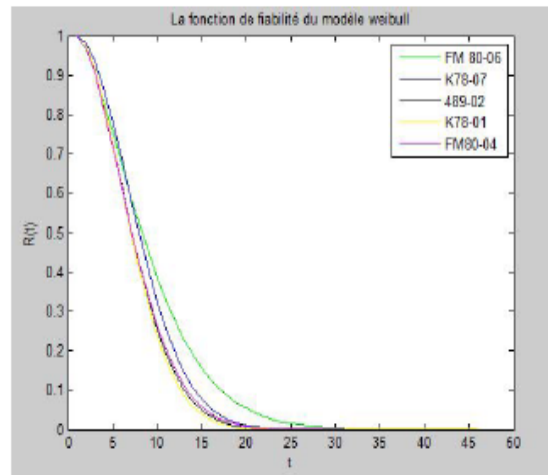


FIGURE 2.4. Courbe de fiabilité

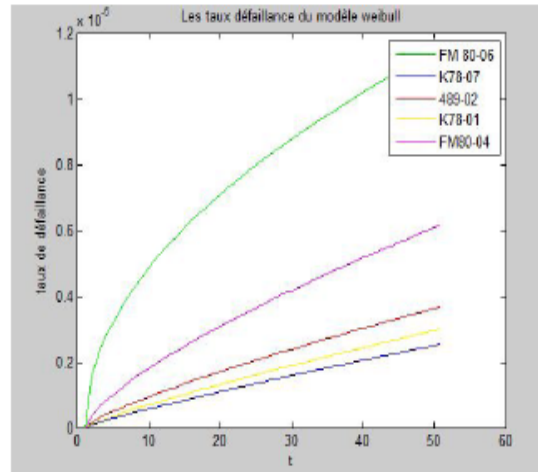


FIGURE 2.5. Taux de défaillance

durée de réparation. Les résultats sont reportés dans le tableau 6.5 par un classement décroissant du MTTR par rapport à la loi Gamma

Equip	n	loi ajustée	paramètres	D_{ks}	$d_{m,0.05}$	MTTR
489 – 02	138	Log-normale	$m = 4.0894, \sigma = 0.497$	0.0729	0.1157	67.55
		Gamma	$\alpha = 0.91, \beta = 75.74$	0.107		68.92
MF80-04	141	Log-normale	$m = 3.792, \sigma = 0.483$	0.08	0.1145	49.83
		Gamma	$\alpha = 0.87, \beta = 58.28$	0.0936		50.70
MF80-06	121	Log-normale	$m = 3.730, \sigma = 0.416$	0.076	0.123	45.33
		Gamma	$\alpha = 0.59, \beta = 76.9$	0.103		45.37
K78-01	149	Log-normale	$m = 3.693, \sigma = 0.439$	0.0935	0.1114	44.22
		Gamma	$\alpha = 0.63, \beta = 71.43$	0.097		45
K78-07	135	Gamma	$\alpha = 0.66, \beta = 67.9$	0.094	0.1170	44.82

TABLE 2.6. Résultats de la modélisation des temps de réparation

Ce tableau montre que : 489-02, MF80-04 et MF80-06 ont un temps de réparation important par rapport aux autres équipements.

2.8 Modélisation des temps d'immobilisation

Les modèles ajustant les temps d'immobilisation des différents équipements ont été validés par le test de Kolmogrov-Smirnov. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.7

Equip	n	loi ajustée	paramètres	D_{ks}	$d_{n,0.05}$	MDT
K78-07	135	Gamma	$\beta = 22.89, \alpha = 0.215$	0.107	0.117	106.46
MF80-04	141	Log-normale	$m = 4.418, \sigma = 0.544$	.0771	0.1145	96.15
489 - 02	138	Log-normale	$m = 4.434, \sigma = 0.452$	0.101	0.1157	93.33
K78-01	149	Log-normale	$m = 4.305, \sigma = 0.424$	0.0780	0.1114	81.03
MF80-06	121	Log-normale	$m = 4.187, \sigma = 0.358$	0.113	0.1236	70.18

TABLE 2.7. Temps d'immobilisation

2.9 Evaluation de la disponibilité

Dans le but de mettre en évidence l'impact que peuvent avoir les temps annexes de réparation sur l'indisponibilité des équipements, on a adopté les étapes suivantes :

- On calcule, dans un premier temps, la disponibilité réelle D_r et celle souhaité D_s ;
- On calcule, dans un deuxième temps, l'indisponibilité ($D_s - D_r$) entraînée par les temps d'attente de réparation ;
- Ensuite on évalue le taux d'indisponibilité causé par les temps annexes de réparation.

Le tableau 6.6 montre l'influence des temps annexes de réparation sur la disponibilité des équipements.

Equip	MUT	MTTR	MDT	D_r	D_{ps}	$D_s - D_r$
MF80-06	8382.9	45.37	70.18	0.991	0.994	0.003
K78-07	7504.9	44.82	106.46	0.986	0.994	0.008
489 - 02	7390.82	68.92	93.33	0.987	0.990	0.004
K78-01	4437.64	45	81.03	0.982	0.989	0.007
MF80-04	7222.99	50.70	96.15	0.986	0.993	0.007

TABLE 2.8. Modélisation de la disponibilité

On remarque que la disponibilité réelle est faible devant la disponibilité souhaitée. L'indisponibilité liée au temps annexe de réparation représente moins de la moitié des temps d'immobilisation à part pour les équipements K78-07 et MF80-04. Ainsi, pour l'équipement K78-07 le taux d'indisponibilité dû au temps d'annexes de réparation est de 0.8% (environ 2H par mois). Soit un taux de 57% des temps d'immobilisation. Pour l'équipement MF80-04 le taux d'indisponibilité dû au temps d'annexes de réparation est de 0.7% (environ 1.5H par mois). Soit un taux de 50% des temps d'immobilisation.

On conclut que les temps d'attente de réparation représentent en moyenne 3% de la capacité programmée des équipements. Il font perdre, en effet, à l'entreprise plus de 3% de son chiffre d'affaire.

Une analyse de la situation est donc indispensable, en particulier pour les équipements K78-07 et MF80-04, afin de réduire ces temps d'immobilisation. Il convient aussi de réviser la politique de gestion des stocks et de mettre en place les moyens adéquats pour une meilleure prise en charge des réparations.

Après avoir étudié la fiabilité et la maintenabilité des équipements de la chaîne de montage B, nous allons étudier dans ce chapitre sa disponibilité.

Cette étude passe par la modélisation du système sous forme d'une chaîne de Markov.

2.9.1 Modélisation

La chaîne de montage B se compose de 26 machines (voir la figure 6.1) et l'analyse ABC (Pareto) nous a donné 5 machines parmi 26 machines (voir le tableau 6.1).

On a schématisé les cinq machines par un sous système (voir la figure 6.3) qui se compose de trois phases :

- Phase A : elle contient les deux équipements MF80-04 et MF80-06 posés en parallèle ;
- Phase B : elle se dispose de l'équipement 489-02 ;
- Phase C : elle contient les deux équipements K78-01 et K 78 – 07 posés en parallèle.

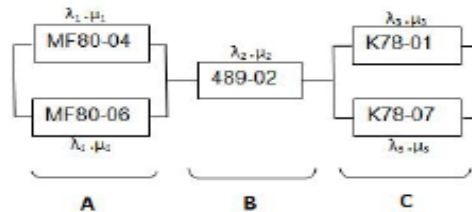


FIGURE 2.6. Schéma du sous système

Dans le tableau 6.7, on a synthétisé les lois de pannes et de réparation des équipements

Equip	n	Fiabilité		Maintenabilité		
		loi ajustée	paramètres	n	loi ajustée	paramètres
489 – 02	137	Weibull	$\beta = 1.796, \eta = 8323$	138	Gamma	$\alpha = 0.91, \beta = 75.74$
K78-07	134	Weibull	$\beta = 1.875, \eta = 8461$	135	Gamma	$\alpha = 0.66, \beta = 67.9$
MF80-04	140	Weibull	$\beta = 1.850, \eta = 8134$	141	Gamma	$\alpha = 0.87, \beta = 58.28$
MF80-06	120	Weibull	$\beta = 1.505, \eta = 9304$	121	Gamma	$\alpha = 0.59, \beta = 76.9$
K78-01	148	Weibull	$\beta = 1.716, \eta = 7615$	149	Gamma	$\alpha = 0.63, \beta = 71.43$

TABLE 2.9. Ajustement des lois de pannes et de réparation

Notre objectif est d'étudier la disponibilité de la chaîne de montage B. Pour cela, on pose la fiabilité des machines autre que ceux qui appartiennent à la zone A de la courbe ABC égale 1.

Le problème qui se pose est l'étude de cette disponibilité avec la loi de réparation (Gamma) et la loi des pannes (loi Weibull). Pour cela, nous allons approximer les lois de réparation par la loi exponentielle à l'aide du MTE potentielle. Concernant les lois de panne, elles sont ajustées

par une loi de Weibull sous le logiciel R et validés par le test Kolmogorov-Smirnov. On peut approximer ces lois par une loi exponentielle avec un taux de défaillance $\lambda = \frac{1}{MUT}$, car dans notre cas, le taux de défaillance de la loi de Weibull est croissant.

Dans ce qui suit, nous allons étudié la disponibilité des trois phases.

Phase A

Cette phase comporte les deux machines MF80-04 et MF80-06 en Redondance active. Les durées des pannes (respectivement des réparations) suivent des lois exponentielle de paramètre λ_1 (respectivement μ_1).

Soit X_t le nombre de machines en panne à la date t . Les états du sous système sont définis comme suit :

- 0 : c'est les deux machines en bon état, le sous système fonctionne ;
- 1 : l'une des deux machines en panne et l'autre en bon état. Le sous système fonctionne ;
- 2 : les deux machines en panne, le sous système ne fonctionne pas.

Graphe de transition :

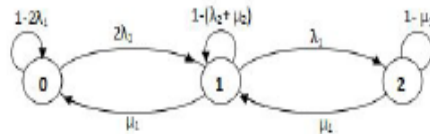


FIGURE 2.7. graphe de transition

Les équations de Chapman-Kolmogorov :

$$\begin{aligned}
 P'_0(t) &= -2\lambda_1 P_0(t) + \mu_1 P_1(t) \\
 P'_1(t) &= 2\lambda_1 P_0(t) - (\lambda_1 + \mu_1) P_1(t) + \mu_1 P_2(t) \\
 P'_2(t) &= \lambda_1 P_1(t) - \mu_1 P_2(t)
 \end{aligned}$$

Le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

La matrice instantanée

La matrice instantanée P' est donnée par :

$$\mathbf{P}' = \begin{pmatrix} -2\lambda_1 & 2\lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \lambda_1 \\ 0 & \mu_1 & -\mu_1 \end{pmatrix}$$

Après calcul, on obtient la disponibilité de la phase A

$$D_A = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} + \frac{2\lambda_1\mu_1}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} = \frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2}$$

L'étude de la disponibilité des deux autres phases se fait de manière similaire et nous avons les résultats suivants.

Phase B

Cette phase comporte les une machine. Les durées des pannes (respectivement de réparation) suivent des lois exponentielles de paramètre λ_2 (respectivement μ_2). Soit X_t est le nombre de machines en panne à la date t . les états du sous système sont définis comme suit :

- 0 la machine en bon état, le sous système fonctionne ;
- 1 la machine en panne, le sous système fonctionne.

Après calculs, la disponibilité de la hase B est donnée par

$$D_B = \pi_0 = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}$$

Phase B

La modélisation de cette phase se fait exactement de la même manière que la phase A et sa disponibilité est donnée par

$$D_C = \frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2}$$

Finalement, la disponibilité du sous système est donnée par

$$D_s = \frac{1}{\left[\frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} \right]^{-1} + \left[\frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right]^{-1} + \left[\frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2} \right]^{-1} - 2}$$

2.9.2 Résolution

Les résultats des approximations sont résumés dans le tableau 6.8

Equi	Taux panne λ	Taux réparation μ	Taux moy. panne	Taux moy. réparation
489-02	0.000135	0.013	0.000135	0.013
K78-01	0.000225	0.013	0.000179	0.0135
K78-07	0.000133	0.014		
MF80-04	0.000138	0.017	0.000128	0.015
MF80-06	0.000119	0.013		

TABLE 2.10. Taux moyens des pannes et de réparation des équipements identiques

Nous pouvons maintenant calculer numériquement la disponibilité du système.

$$D_s = \frac{1}{\left[\frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} \right]^{-1} + \left[\frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right]^{-1} + \left[\frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2} \right]^{-1} - 2} = 0.9891.$$

Avec

$$D_A = \frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} = 0.9998$$

$$D_B = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} = 0.9897$$

$$D_C = \frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2} = 0.9996$$

2.9.3 Interprétation des résultats

On remarque que la disponibilité du système est très grande. Cela est dû essentiellement à - La grande disponibilité de chaque équipement ; - La nature du fonctionnement de la chaîne (redondance des équipements), qui offre une meilleure disponibilité ; - Les équipements fonctionnent seulement 8 h/24 h ; - Les temps d'arrêts des équipements sont très faibles par rapport au temps de bon fonctionnement.

2.10 Conclusion et perspectives

Cette étude nous a permis de clarifier la relation existante entre la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Pour avoir une grande disponibilité des installations stratégiques, il faut soit augmenter la fiabilité ou diminuer les temps de réparations des équipements selon l'importance du système étudié et les coûts engendrés par l'augmentation de la fiabilité ou la diminution des temps de réparations, ou encore les deux en même temps.

Les notions de fiabilité et l'économie sont fortement liées. Plus on veut réduire les risques de mauvais fonctionnement du système, plus on augmente sa fiabilité. Cette augmentation engendre l'augmentation des coûts totaux.

L'hypothèse d'exponentialité avait simplement pour objectif d'illustrer l'approche analytique d'obtention de la disponibilité. Pour que les résultats obtenus puissent être exploités il faudrait réaliser l'étude en considérant les lois Gamma et Weibull. De plus, nous proposons d'améliorer ce travail par l'optimisation des temps de renouvellement des composants, de sorte à minimiser les coûts des pannes ou maximiser la disponibilité des équipements, qui présente un temps d'indisponibilité opérationnelle important.

Références

1. F. Acheuk and M. Hassaim. Etude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise COGB Béjaia. Mémoire de fin d'études, Dept de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2004.
2. P. Chapouille. Fiabilité. Maintenabilité. Techniques de l'Ingénieur, T4300, 2007.
3. Br. Cobb, Pp. Shenoy, and R. Rumi. Approximating probability density functions with mixtures of truncated exponentials. University of Kansas school of business (USA), 1-29, 2004.
4. P. Lyonnet. la maintenance mathématiques et méthodes. Tec et doc édition, 2000.

3

Experience Fastback analysis for Maintenance Optimization at the Stations and Drilling of AEP-Bejaïa's Network

Boussouira H., Chachoua L. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé Les nombreux projets de densification du tissu urbain de la ville de Béjaïa conduiront dans les années à venir à des extensions du réseau d'AEP. Dans ce cas, les équipements de la compagnie des eaux EDEMIA pourront ils faire face à la continuité du processus de production ?

L'objectif de cette étude est l'analyse du retour d'expérience des équipements principaux des stations et des champs de captage du réseau d'AEP de la ville de Béjaïa, et ce, afin d'évaluer leurs fiabilités, leurs disponibilités et par suite, celles des différents modes de fonctionnement du réseau. Il s'agit de déterminer une politique optimale de maintenance, sur la base d'une étude économique.

Mots clés : Réseau Hydraulique, Analyse du Retour d'Expérience, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Lois et Tests non Paramétriques.

Abstract

The numerous project of densification urban tissue of Bejaïa city will drive in the years to come to extensions of AEP's network. In that case, will the equipments of EDEMIA Water Company be able to face the continuance of the production process ?

The objective of this study is the experience fastback analysis of stations and fields harnessing main equipments of AEP's network, and this in order to estimate their reliabilities, theirs availability and as a consequence, those of the various modes network functioning. It is a question of determining an optimal policy of maintenance, on the base of an economic study.

Keywords : Hydraulic Network, Experience Fastback Analysis, Reliability, Maintainability, Availability, Laws and Tests non parametric.

3.1 INTRODUCTION

The water is a vital resource for the man. The sending of this water from the source until the faucet of each-one, in a continuous and sufficient way, represents a very high capital cost because the developer has to implant and administer a set of works and very complex equipments.

Modern technologies allow us to list and to exploit in the best way the few hydro resources that we have. Indeed, Algeria is in one of the poorest zones in hydraulic resources. Where resides the importance of a good exploitation and a good management of this indispensable resource. A good management suggests obviously an adequate plan of maintenance of the equipments, based on the concepts of reliability, of maintainability and availability.

Reliability is the characteristic of a device expressed by the probability that carries out a function required in given conditions, during a given time [1]. The historic of the breakdowns

of a system allows to have information about the laws of probability of various failings. The statistical analysis of these data makes so much integral part of reliability's theory.

Maintenance based on the reliability rests essentially on the treatment of the experience fast-back of the materials in exploitation.

The fast extension of the population of Bejaïa's city leads to difficulties in the drinkable water supply. Current availability is of 42000 m³/day. With this level of production, the EDEMIA water Company manages to assure certain degree of satisfaction of the population's necessities. It will become more difficult with the new extensions of the network. These extensions concern particularly Sidi-Ahmed zone and that of Ihaddaden, where projects of densifications of the urban tissue are in progress (two new stations, Tala Markha and Oussama, will be operational in 2003). In parallel, to be able to face this increase of demand, the EDEMIA envisages the mobilization of new resources, such as the realization of two new drillings of a debit 40 l/s each. Nevertheless, it can be insufficient, according to different abnormalities which knows the AEP network of Béjaïa's city (repeated cuts of water, considerable flights, . . .). Where there is a necessity of a rigorous management allowing to reduce these abnormalities, by assuring a continuance in the process of production, by the introduction of procedures able of optimizing the equipments' exploitation of the network, to raise their availability.

The objective of this report goes with this context and concerns the implementation of a possible policy of preventive maintenance. It is for others to define the periodicity of material's maintenance. The optimization of policy of maintenance leads itself to a decision-making study. To make this study, we should know the true law of the materials' life expectancies. However, this is practically impossible. One is so forced to appeal on the experience fastback concerning the exploitation of the materials, which can be ambiguous and partial.

This work is illustrated with a functional modeling of the system, realized according to what someone knows of each of its constituents, their dependences, and statistical observations concerning them by the modeling of the reliability of the network's various variants. A main equipments data's statistical treatment of pump stations and fields of harnessing, allows to estimate reliability, maintainability and availability of these last ones, and by this even, the network.

3.2 DESCRIPTION OF AEP'S NETWORK OF BEJAIA'S CITY

The drinkable water supply of Bejaïa's city makes from the drillings of Oued Zitouna and Oued Agrioune, Oued Djemaa's wells, as well as from Kherrata's source. The produced water arrives at the central station situated to Oued Sghir. Of this last one, arise three chains of expulsion, allowing the food of it almost totality of the city. According to the topography (hilly landscape) of Bejaïa's city, food makes by floors :

- The first chain of expulsion has for role to feed the zone of Ancient City, by way of stations Fouka and Boussiron.
- The second chain of expulsion has for role to feed Sidi-Ahmed's zone, by way of stations Sidi-AhmedI, Sidi-AhmedII and Sidi-AhmedIII.
- The third chain of expulsion has for role to feed Ihaddaden's zone, by way of stations IhaddadenI and IhaddadenII.

3.3 MAINTENANCE WITHIN THE EDEMIA AND DATA COLLECTION

The public establishment of domestic distribution industrial water and purification of Bejaïa's Wilaya (E.D.E.M.I.A) was created by consideration of the APW in date 12.07.1987.

THE EDEMIA administers six sectors of Bejaïa's Wilaya, regrouping 13 municipalities. Until 31.12.01, it feeds more than 320.000 inhabitants.

The service maintenance of the EDEMIA assures preservation in state of functioning of 31 drillings and (05) wells equipped with groups electropumps immersed, and 46 stations of transfer equipped with groups electropumps horizontal. It includes a section organization, a preventive section and a curative section.

The data collection was made at the level of the department exploitation, within services of maintenance and production. Information contained in these data are ambiguous and present certain indistinctness.

To reconstitute our samples, we were forced to confront several sources : The cards of interventions, the checks of exit stock, the reports of production, and it, for period spreading for 01. 01. 1995 to 30. 09.2001.

3.4 MODELING AND APPRAISAL OF NETWORK'S RELIABILITY

During a study of reliability, it is advisable to consider any system as a joining of constituents of which actions and interactions are going to determine the behavior of the set.

AEP's network of Bejaïa's city includes (08) drillings, (04) wells and (08) main stations. These last ones put on the whole 40 groups electropumps.

Before proceeding to the model of the network, we made a classification of the groups electropumps according to their technical characteristics. So one made first one subdivision in two classes according to the disposal of the pump's axis, namely, the class of the groups electropumps immersed (GEPI) who characterize those of drillings and well, and the class of the groups electropumpes horizontal (GEPH) who characterize those of stations. These two classes are subdivided in their tour into sub-classes, according to the main characteristics of the engine and the group's pump, of a way presented in the following two tables :

The study of reliability is going to base itself on the main constituents of drillings, wells and network's stations, which are going to represent the diagram's blocks of the system's reliability. This last one consists in a representation of type

Classes of GEPH	Count of GEP by station	Pump			Engine	
		Mark	Debit $Q(m^3/h)$	Height $Hmt(m)$	Power $P(kw)$	Speed $N(tr/mn)$
GEPH1	3 GEP/ Centrale	KSB	800	80	250	1480
GEPH2	3 GEP/ Centrale	KSB	540	80	160	1475
GEPH3	4 GEP/ Fouka. 2 GEP/ IhaddadenI	KSB	350	67	110	1470
GEPH4	5 GEP/ Sidi-AhmedI. 2 GEP/ Sidi-AhmedII	SONACOM	482	55	102	1460
GEPH5	2 GEP/ Sidi-AhmedIII 3 GEP/ Boussiron	KSB	183	94	84	2915
GEPH6	2 GEP/ Boussiron	GUINARD	284	37	45	2900
GEPH7	4 GEP/ IhaddadenII	ENPMH	29	166	75	2900

TABLE 3.1. Classes of horizontal electropumps groups

Classes of GEPHI	Count of GEP by drilling	Pump			Engine	
		Mark	Debit $Q(m^3/h)$	Height $Hmt(m)$	Power $P(kw)$	Speed $N(tr/mn)$
GEPH1	2 GEP/ Oued Agrioune 1 GEP/ Oued Djemaa	ATURIA	108	126	55	2900
GEPH2	2 GEP/ Oued Agrioune 4 GEP/ Oued Zitouna	RATEAUX	152	140	88	2900
GEPH3	2 GEP/ Oued Djemaa	ATURIA	218	116	103	2900

TABLE 3.2. Classes of immersed electropumps groups

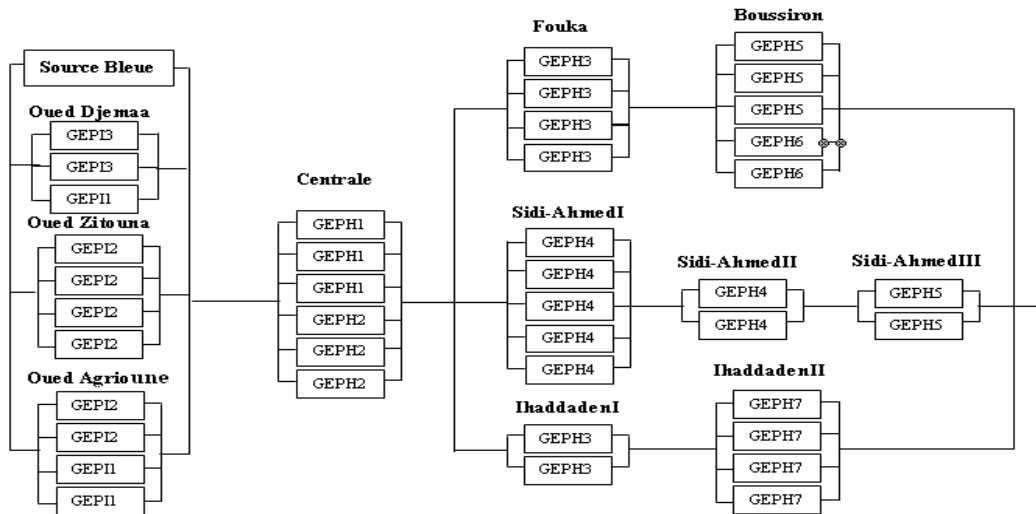


FIGURE 3.1. Reliability diagram of AEP's Network of Bejaïa's city.

functional plan, the constituents of the system are represented with blocks and connections between these blocks represent relations between elements [2]. The global structure of the system is represented as follows :

Where drillings, well and source forms, of the point of view reliability, a system 12/12, which is mass with the central station and under system representing distributive network. This last one constitutes a system 3/3 (three directions) of the point of view reliability.

According to the quantity of water produced with the fields of harnessing (drillings, well, source), the network works according to four modes for climatic reasons, such as the pluviometry, the temperature and the evaporation. These modes were determined from the registers of production for various periods of the year (summer, winter, . . .).

From the global system, approach consists so in estimating the reliability of variants characterizing the various modes of it functioning.

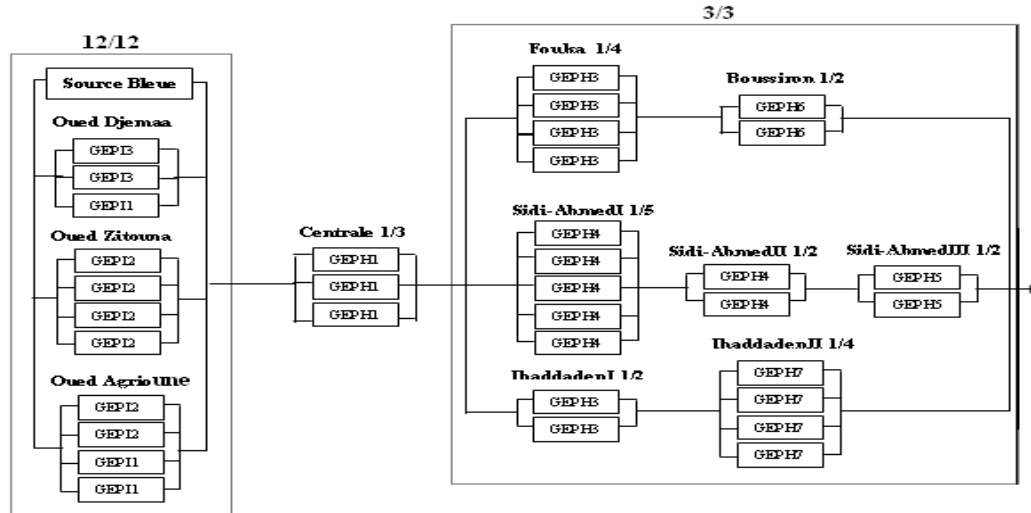


FIGURE 3.2. Variant 1 reliability diagram.

Model 1

$$R_{V_{ar1}}(t) = [(R_{GEP11}(t))^3(R_{GEP12}(t))^6(R_{GEP13}(t))^2][1 - (1 - (R_{GEPH1}(t))^3)(1 - (1 - R_{GEPH3}(t))^4)(1 - (1 - R_{GEPH6}(t))^2)][(1 - (1 - R_{GEPH4}(t))^5)(1 - (1 - (R_{GEPH4}(t))^2)(1 - (1 - R_{GEPH5}(t))^2))](1 - (1 - R_{GEPH3}(t))^2)(1 - (1 - R_{GEPH7}(t))^4).$$

Variant 2 :

It is about the most frequent case of functioning of the system, With a debit varying between $1300m^3/hour$ and $1600m^3/hour$, the central station has to work with two pumps. The other stations remain functional with a single pump, except for the stations Boussiron and IhaddadenI, which have to work each with two pumps because of the weak debit supplied by these last ones.

Variant 3 :

Notations :

$R_{GEPH_i}(t)$: Reliability of a group electropumpe horizontal belonging to the class $N^o i, i = 1, \dots, 7$

$R_{GEPi_i}(t)$: Reliability of a group electropumpe immersed belonging to the class $N^o i, i = 1, \dots, 3.$

$R_{vari}(t)$: Reliability of the variant $i, i = 1, \dots, 4.$

Remark

$R_{source}(t) = 1$ because the sending of the water produced with the blue source is made by gravity. It does not require equipments for it extraction.

Variant 1 :

This variant represents the functioning of stations when it is a question of working with a debit varying between $800m^3/hour$ and $1000m^3/hour$. In this variant, all the stations work only with a single group electropumpe. This scenario is rather rare. It can happen towards the end of the dry season. The diagram as well as The final expression of the model of reliability of this variant are given this below :

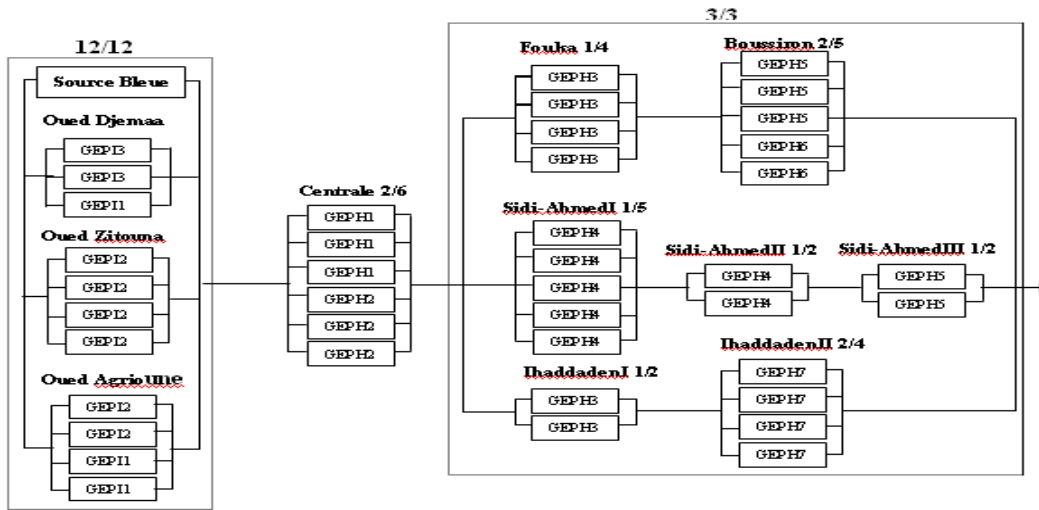


FIGURE 3.3. Variant 2 reliability diagram

In this variant, the central station has to work with three pumps to be able to evacuate debit supplied by the link production, the station Sidi-AhmedI has to work with two pumps and the other stations remain functional with the same number of pumps as in the previous variant.

Model 2 :

$$\begin{aligned}
 R_{V_{ar2}}(t) = & [(R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^6(R_{GEPH3}(t))^2][9R_{GEPH1}(t)R_{GEPH2}(t)(1 - \\
 & R_{GEPH1}(t))^2(1 - R_{GEPH2}(t))^2 + 9R_{GEPH1}(t)(R_{GEPH2}(t))^2(1 - R_{GEPH1}(t))^2(1 - \\
 & R_{GEPH2}(t)) + 3R_{GEPH1}(t)(R_{GEPH2}(t))^3(1 - R_{GEPH1}(t))^2 + 3(R_{GEPH1}(t))^2(1 - \\
 & R_{GEPH1}(t))(1 - R_{GEPH2}(t))^3 + 9(R_{GEPH1}(t))^2R_{GEPH2}(t)(1 - R_{GEPH1}(t))(1 - R_{GEPH2}(t))^2 + \\
 & 9(R_{GEPH1}(t))^2(R_{GEPH2}(t))^2(1 - R_{GEPH1}(t))(1 - R_{GEPH2}(t)) + 3(R_{GEPH1}(t))^3R_{GEPH2}(t)(1 - \\
 & R_{GEPH2}(t))^2 + 3(R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^2(1 - R_{GEPH2}(t)) + (R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^3][(1 - \\
 & (1 - R_{GEPH3}(t))^4](6R_{GEPH6}(t)R_{GEPH5}(t)(1 - R_{GEPH6}(t))(1 - R_{GEPH5}(t))^2 + \\
 & 6R_{GEPH6}(t)(R_{GEPH5}(t))^2(1 - R_{GEPH6}(t))(1 - R_{GEPH5}(t)) + 2R_{GEPH6}(t)(R_{GEPH5}(t))^3(1 - \\
 & R_{GEPH6}(t)) + 3(R_{GEPH6}(t))^2R_{GEPH5}(t)(1 - R_{GEPH5}(t))^2 + 3(R_{GEPH6}(t))^2(R_{GEPH5}(t))^2(1 - \\
 & R_{GEPH5}(t)) + 3(R_{GEPH5}(t))^2(1 - R_{GEPH6}(t))^2(1 - R_{GEPH5}(t)) + (R_{GEPH5}(t))^3(1 - \\
 & R_{GEPH6}(t))^2 + (R_{GEPH6}(t))^2(R_{GEPH5}(t))^3][(1 - (1 - R_{GEPH4}(t))^5)(1 - (1 - (R_{GEPH4}(t))^2)(1 - \\
 & (1 - R_{GEPH5}(t))^2)][(1 - (1 - R_{GEPH3}(t))^2)(6(R_{GEPH7}(t))^2(1 - R_{GEPH7}(t))^2 + 4(R_{GEPH7}(t))^3(1 - \\
 & R_{GEPH7}(t)) + (R_{GEPH7}(t))^4)]
 \end{aligned}$$

FIGURE 3.4. Variant 2 reliability diagram

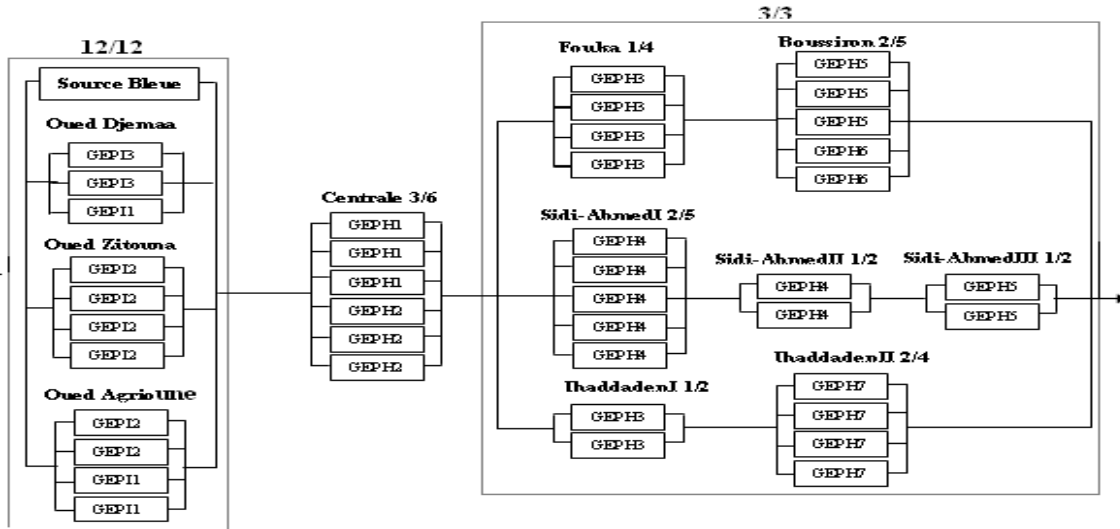


FIGURE 3.5. Variant 3 reliability diagram

Variant 4 :

This mode of functioning is not frequent. It occurs when total debit arrived at the central station exceeds $2300m^3/hour$. In that case, the central station has to work with four elements. The station Fouka has to work with two elements, what leads to put on three elements in the station Boussiron and the other stations remain functional with the same number of pumps as in the previous variant.

Model 3 :

$$R_{Var3}(t) = [(R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^6(R_{GEPH3}(t))^2][9(R_{GEPH1}(t))^2R_{GEPH2}(t)(1 - R_{GEPH1}(t))(1 - R_{GEPH2}(t))^2 + 9(R_{GEPH1}(t))^2(R_{GEPH2}(t))^2(1 - R_{GEPH1}(t))(1 - R_{GEPH2}(t)) + 3(R_{GEPH1}(t))^2(R_{GEPH2}(t))^3(1 - R_{GEPH1}(t)) + 3(R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))(1 - R_{GEPH2}(t))^2 + 3(R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^2(1 - R_{GEPH2}(t)) + 9R_{GEPH1}(t)(R_{GEPH2}(t))^2(1 - R_{GEPH1}(t))^2(1 - R_{GEPH2}(t)) + 3R_{GEPH1}(t)(R_{GEPH2}(t))^3(1 - R_{GEPH1}(t))^2 + (R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^3][(1 - (1 - R_{GEPH3}(t))^4)(6R_{GEPH6}(t)R_{GEPH5}(t)(1 - R_{GEPH6}(t))(1 - R_{GEPH5}(t))^2 + 6R_{GEPH6}(t)(R_{GEPH5}(t))^2(1 - R_{GEPH6}(t))(1 - R_{GEPH5}(t)) + 2R_{GEPH6}(t)(R_{GEPH5}(t))^3(1 - R_{GEPH6}(t)) + 3(R_{GEPH6}(t))^2R_{GEPH5}(t)(1 - R_{GEPH5}(t))^2 + 3(R_{GEPH6}(t))^2(R_{GEPH5}(t))^2(1 - R_{GEPH5}(t)) + (R_{GEPH6}(t))^2(1 - R_{GEPH5}(t))^3 + (R_{GEPH6}(t))^2(R_{GEPH5}(t))^3][(10R_{GEPH4}(t))^2(1 - R_{GEPH4}(t))^3 + 10(R_{GEPH4}(t))^3(1 - R_{GEPH4}(t))^2 + 5(R_{GEPH4}(t))^4(1 - R_{GEPH4}(t)) + (R_{GEPH4}(t))^5(1 - (1 - (R_{GEPH4}(t))^2)(1 - (1 - R_{GEPH5}(t))^2)))](1 - (1 - R_{GEPH3}(t))^2)(6(R_{GEPH7}(t))^2(1 - R_{GEPH7}(t))^2 + 4(R_{GEPH7}(t))^3(1 - R_{GEPH7}(t)) + (R_{GEPH7}(t))^4)]$$

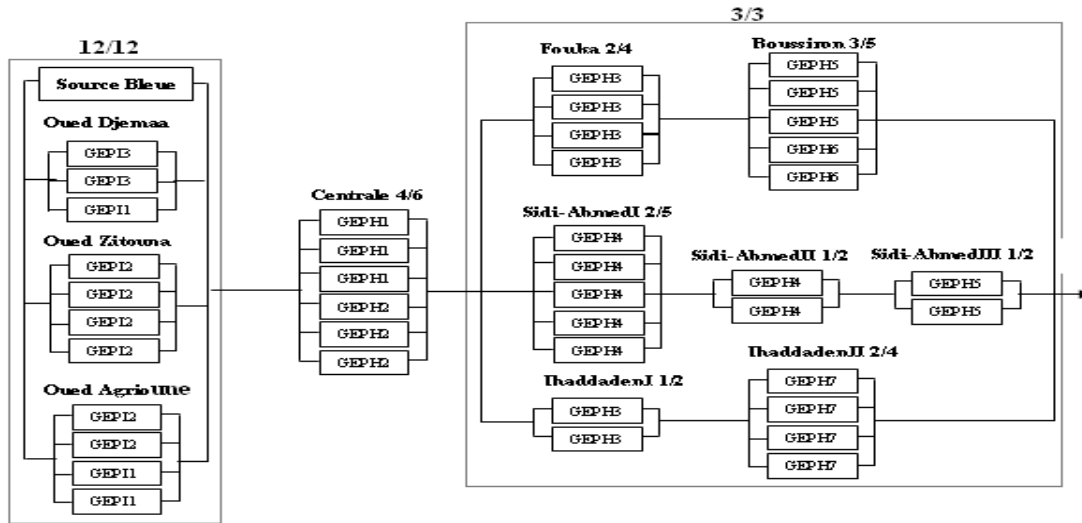


FIGURE 3.6. Variant 4 reliability diagram

Model 4 :

$$R_{Var4}(t) = [(R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^6(R_{GEPH3}(t))^2][3(R_{GEPH1}(t))^2(R_{GEPH2}(t))^3(1 - R_{GEPH1}(t)) + 3R_{GEPH1}(t)(R_{GEPH2}(t))^3(1 - R_{GEPH1}(t))^2 + (R_{GEPH1}(t))^3(R_{GEPH2}(t))^3][(6(R_{GEPH3}(t))^2(1 - R_{GEPH3}(t))^2 + 4(R_{GEPH3}(t))^3(1 - R_{GEPH3}(t)) + (R_{GEPH3}(t))^4)(6R_{GEPH6}(t)(R_{GEPH5}(t))^2(1 - R_{GEPH6}(t))(1 - R_{GEPH5}(t)) + 2R_{GEPH6}(t)(R_{GEPH5}(t))^3(1 - R_{GEPH6}(t)) + 3(R_{GEPH6}(t))^2R_{GEPH5}(t)(1 - R_{GEPH5}(t))^2 + 3(R_{GEPH6}(t))^2(R_{GEPH5}(t))^2(1 - R_{GEPH5}(t)) + (R_{GEPH6}(t))^2(R_{GEPH5}(t))^3][(10R_{GEPH4}(t))^2(1 - R_{GEPH4}(t))^3 + 10(R_{GEPH4}(t))^3(1 - R_{GEPH4}(t))^2 + 5(R_{GEPH4}(t))^4(1 - R_{GEPH4}(t)) + (R_{GEPH4}(t))^5(1 - (1 - (R_{GEPH4}(t))^2)(1 - (1 - R_{GEPH5}(t))^2)))](1 - (1 - R_{GEPH3}(t))^2)(6(R_{GEPH7}(t))^2(1 - R_{GEPH7}(t))^2 + 4(R_{GEPH7}(t))^3(1 - R_{GEPH7}(t)) + (R_{GEPH7}(t))^4)]$$

3.5 ANALYSIS OF THE GROUPS ELECTROPUMPS' RELIABILITY

In this part of the study, we modeled the laws of survivals of the system's constituents, from the data of the times of good functioning, of the electropumps groups' classes raised from the experience fastback.

We made for that purpose, two types of modeling :

- A modeling by laws non parametric (IFR, DFR) confirmed by the test of Prochan-Pyke and by the graphic test.
- A modeling by Weibull's law in two parameters. Confirmed by the test of Khi-deux and by the test of Kolmogorov-Smirnov.

3.5.1 Non-parametric Modeling

Graphic Test [3]

This test is based on the properties of the TTT-graph. It consists in representing points $\frac{j}{n}, U_j = \frac{S(t_j)}{S(t_n)}, j = 1, \dots, n$ on the square unity.

Where :

$$S(t_j) = \sum_{k=1}^j S_k, \text{ for } j = 1, \dots, n, \tag{3.1}$$

whith $S_k = (n-k+1)(t_k - t_{k-1})$ for $k = 1, \dots, n, (t_0 = 0), t_1, t_2, \dots, t_n$ is an orderly stemming sample of variable unpredictable X "life length", of distribution function F . So, according to the distribution of these points, one can end with regard to the membership of the distribution studied in one of the classes non-parametric of age.

- If the obtained curve is concave : F is IFR (at increasing rate of failing).
- If the obtained curve is convex : F is DFR (at lessening rate of failing).

We present in this below the cloud of points obtained for the class GEPH1

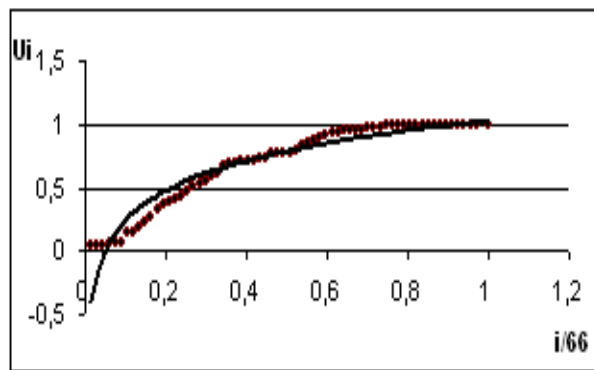


FIGURE 3.7. Graphic test for the class GEPH1.

Results obtained for the set of the classes are given in the following tables :

Proschan-Pyke's test [3]

It allows to made out a will : H_0 " $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ ", against H_1 " F is IFR (DFR)". This test is based on the statistics $V_r = \sum_{i < j} V_{ij}$, with :

$$V_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } S_i > S_j \\ 0 & \text{else.} \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, r, \tag{3.2}$$

GEPH	n	Allure	Model
GEPH1	66	Concave	IFR
GEPH2	78	Concave	IFR
GEPH3	94	Concave	IFR
GEPH4	102	Concave	IFR
GEPH5	80	Concave	IFR
GEPH6	51	Concave	IFR
GEPH7	63	Straight	Exponential

TABLE 3.3. Graphic test results for the classes of GEPH

GEPI	n	Allure	Model
GEPI1	73	Straight	Exponential
GEPI2	29	convex	DFR
GEPI3	45	Straight	Exponential

TABLE 3.4. Graphic test results for the classes of GEPI

With a significant threshold equals to 0.05, one accepts H_0 when the value of the statistics V_r is included between 1.96 and -1.96 and rejected should the opposite occur. Obtained results are presented in the following tables :

GEPH	Vr	Observation
GEPH1	-6.1	IFR
GEPH2	-5.43	IFR
GEPH3	-7.5	IFR
GEPH4	-4.88	IFR
GEPH5	-3.18	IFR
GEPH6	-6.23	IFR
GEPH7	0.97	Exponential

TABLE 3.5. Results of the test of Pyke Proschan Pyke for the GEPH's classes.

GEPI	Vr	Observation
GEPI1	-1.75	Exponential
GEPI2	1.84	Exponential
GEPI3	-0.02	Exponential

TABLE 3.6. Results of the test of Pyke Proschan Pyke for the GEPI's classes.

3.5.2 Parametric modeling

The data collected are of type right multiple censored. We did not take into account censored times because we have a sufficient number of complete data.

We chose Weibull's model in two parameters because of the equivalence for mechanical systems on one hand and for the capacity to cover a big number of laws.

Estimation of parameters by the graphic method [5]

Having classified the TBF (mean up time) in order increasing and calculated the function of empirical distribution by the method of the median ranks, one put back results on Weibull's paper. The parameters' values of Weibull's law, determined so for every class, are given in the following tables :

GEPH	n	β	$\eta(Hours)$
GEPH1	66	1.4	1400
GEPH2	78	1.3	1500
GEPH3	94	1.2	1100
GEPH4	102	1.5	900
GEPH5	80	1.6	900
GEPH6	51	1.6	1750
GEPH7	63	1.1	1650

TABLE 3.7. Results of the graphic method for the GEPH's classes

GEPI	n	β	$\eta(Days)$
GEPI1	73	1.2	125
GEPI2	29	0.8	180
GEPI3	45	0.9	200

TABLE 3.8. Results of the graphic method for the GEPI's classes

Estimation of parameters by the least square procedure

The estimation of parameters by the least squares procedure brings in at the same moment the TBF and the function of empirical survival. This last one estimated by Kaplan-Meier's method for complete data. The validation of obtained models is realized by the test of Kolmogorov-Smirnov and the one of Khi-deux.

The test of Kolmogorov-Smirnov is based on the statistics [5] :

$$D_n = \max_{x \in \mathbb{R}} |F_n(x) - F_0(x)|. \tag{3.3}$$

Where $F_0(x)$: theoretical law.

$F_n(x)$: the function of empirical distribution. The test of Khi-deux is based on the statistics [5] :

$$K_n^2 = \sum_{i=1}^r \left(\frac{n_i - np_i}{np_i} \right)^2. \tag{3.4}$$

Where :

n_i : the actual of the class C_i .

P_i : Probability to be in the class C_i .

np_i :Effectif théorical of the class C_i .

The results of the adjustment obtained using the Stat-graph software are represented in the following tables :

GEPH	Adjusted laws	Parameters	MUT (hours)
GEPH1	Weibull	$\beta = 1.70$ | $\eta = 1927$	1719.26
GEPH2	Weibull	$\beta = 1.54$ | $\eta = 2027$	1823.08
GEPH3	Weibull	$\beta = 2.04$ | $\eta = 1452$	1286.70
GEPH4	Weibull	$\beta = 2.42$ | $\eta = 1314$	1164.96
GEPH5	Weibull	$\beta = 1.97$ | $\eta = 1330$	1179.31
GEPH6	Weibull	$\beta = 1.45$ | $\eta = 1737$	1574.94
GEPH7	Exponential	$\lambda = 0.00056536$	1768.78

TABLE 3.9. Adjustment results of lows for the GEPH’s classes.

GEPI	Adjusted laws	Parameters	MUT (hours)
GEPI1	Weibull	$\beta = 1.32$ | $\eta = 3664$	3356.16
GEPI2	Exponentielle	$\lambda = 0.000270738$	3693.60
GEPI3	Exponentielle	$\lambda = 0.000223773$	4468.80

TABLE 3.10. Adjustment results of lows for the GEPI’s classes.

MUT represents the mean up time. It is equal to the mathematical of the life expectancy length w [10] :

$$MUT = E(W) = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty R(t) dt. \tag{3.5}$$

In the case of Weibull’s law, it costs : $MUT = \gamma + \eta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$. Where γ, η, β are the parameters of Weibull’ law, and $\Gamma(\cdot)$ is the Gamma function define by : $\Gamma(a) = \int_0^\infty x^{a-1} e^{-x} dx$.

3.5.3 Comparison and interpretation of results

The results of the graphic test show that the clouds of points for the majority of the horizontal electropumps groups’ classes are concave, so in this case, exponential model is rejected to the profile of the law IFR. On the other hand the clouds of points for the majority of the immersed electropumps groups’ classes are aligned approximately according to right-hand sides, what drives to retain exponential model in that case. These results suit well those of the parametric modeling, which shows that the estimated value of the parameter of shape is sharply superior to 1 for the most part of the horizontal electropumps groups’ classes, and close to 1 for the immersed electropumps groups’ classes.

So one was able to arrange the groups electropumps, following their behavior, in two categories :

- The groups electropumps which present a parameter of shape sharply superior to 1, which corresponds to the case of the majority of the GEPH’s classes. They are of this fact characterized by an increasing rate of failing according to time. This means that their breakdowns

are due to ageing. This explains itself by the fact that the starting of the majority of these groups dates years eighty. Preventive maintenance is recommended in that case.

- The groups electropumps which present a parameter of shape close to 1, which corresponds to the case of the GEPI.'s classes They are so characterized by a constant rate of failing. This explains itself by the fact that this type of groups are characterized by failings catalectic. In that case, it is difficult to observe degradation. Consequently, they do not require a preventive maintenance.

The curves of reliability of the groups electropumps' classes show that the GEPI's classes reaches a reliability of 0.5 after a time of good functioning varying between 150 and 200 days. On the other part, for the classes GEPH, they reach a reliability of 0.5 after a time of good functioning included between 50 and 80 days.

The curves of the rate of failing of the GEPH's classes are increasing according to time, what corresponds to the third phase of the curve in bathtub representing the period of old age. On the other hand, the rate's curves of failing of the classes of immersed electropumps groups' classes are approximately aligned according to right-hand sides.

The figure N°6 shows that variant 2, most frequent case of the functioning of the system, reaches a reliability of 0.5 after a time of good functioning equal at 2550 Hours. This last one represents a half for variant 4 and it is equal in 1500 and 3500 for variants 3 and 1 respectively.

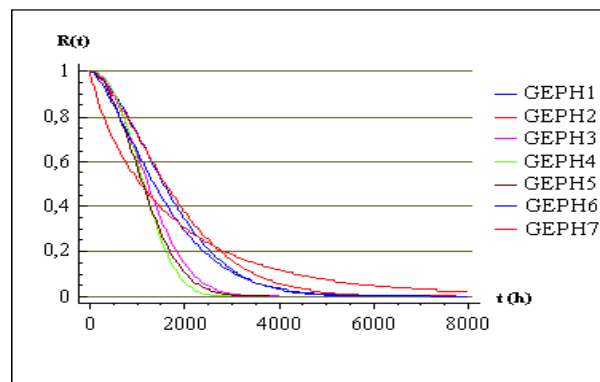


FIGURE 3.8. Reliability function of GEPH s class.

3.6 ECONOMICAL RENEWAL STUDY

The purpose of this part of study is the choice of the most advantageous renewal among the curative and the preventive. It is for the GEP which present an increasing rate of failing, determined by the previous study, namely the GEPH. However the application of maintenance requires a decomposition of the GEPH in elements maintainable. A statistical study for all the elements of the group for every class would show itself long. We made for that purpose an analysis ABC by containing the constituents of GEPH's all classes. The elements of information necessary

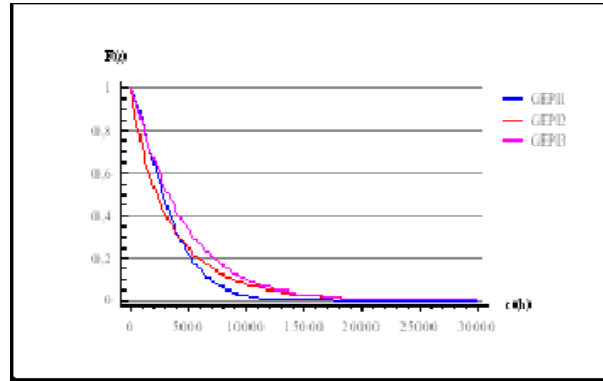


FIGURE 3.9. Reliability function of GEPI s class.

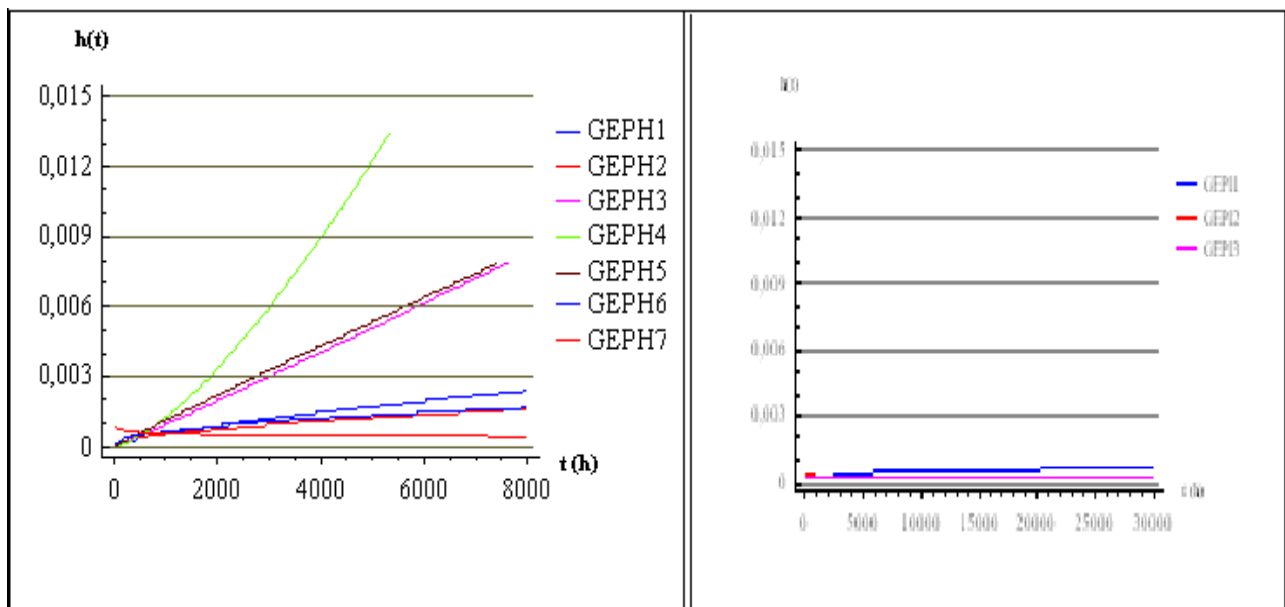


FIGURE 3.10. Failure rate of GEPH' & GEPI's class.

for Pareto’s analysis, namely, costs of intervention as well as number of breakdowns relative to every element, were obtained by the confrontation of several sources (the cards of intervention, checks of exits), for period going from 1995 till 2001. Having classified breakdowns in order decreasing of cost, every breakdown reports in an element. The results of Pareto’s analysis are put back on the table (11) and the graph (7). They reveal that 61.89 % of costs incurred during studied period are engendered by 14.54 % of breakdowns. This analysis allowed us to conclude that rumblings NU314, 6412 and 6411, as well as engines of power 250 kw, 160 kw, 110 kw and 90 kw are the most expensive in maintenance for the horizontal groups électropompes.

Cost evaluation [5]

- ✓ The cost of failing C_d is estimated by basing on the following considerations :
 - Loss in raw material P_m null.
 - Loss of amortization P_a null.

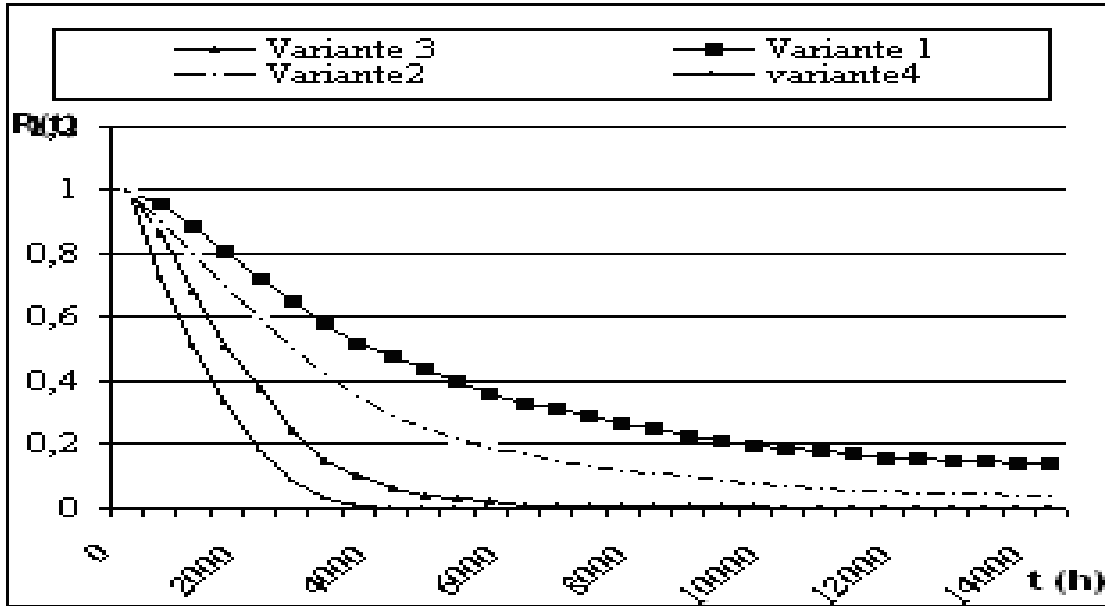


FIGURE 3.11. System variants reliability

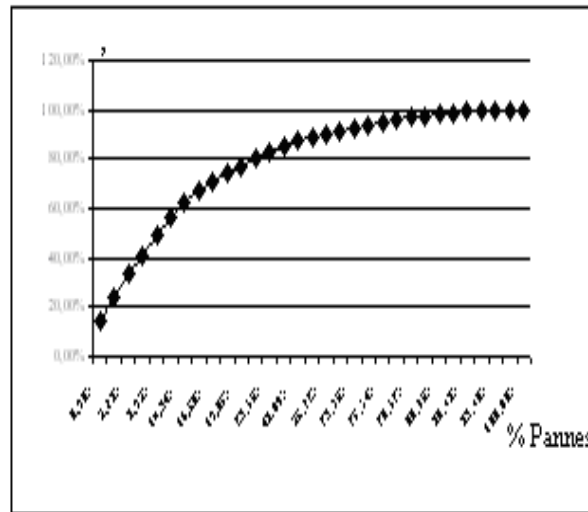


FIGURE 3.12. Pareto diagram

- Consumed energy unimportant P_e .

Consequently, the cost of failing will be likened to the loss of production P_p , and will be so equal to the production cost schedule Ch multiplied by pause T : $C_d = T \times Ch$.

✓ The average cost of the curative maintenance (C_∞) is reckoned from the following formula :

$$C_\infty = \frac{C_d + C_p}{\int_0^\infty R(t)dt} = \frac{C_d + C_p}{MUT} \tag{3.6}$$

Where $C_p = C_m + C_s$.

With : C_m = cost of the replacement part. C_s = cost of the hand of work which contains the direct salaries and the loads. C_p = cost of the renewal.

✓ The average cost of the preventive maintenance ($C(T)$) is obtained by the following expression :

Elements	Costs (DA)	% Costs	Nbr breakdowns	% breakdowns
Moteur 250 KW	800000	0,1401	4	0,0030
Moteur 160 KW	551070	0,2366	3	0,0052
Roulement 6412	540960	0,3314	69	0,0572
Roulement NU314	450840	0,4103	51	0,0957
Moteur 90 KW	450000	0,4891	5	0,0994
Moteur 110 KW	420000	0,5627	3	0,1017
Roulement 6411	320740	0,6189	58	0,1454
Moteur 75 KW	280000	0,6679	4	0,1484
Roulement 6320	211680	0,7050	18	0,1620
Roulement 6315	209560	0,7417	31	0,1853
Accouplement ∅133	172944	0,7720	15	0,1966
Roulement 6210	157780	0,7996	49	0,2336
Moteur 30 KW	140000	0,8242	4	0,2366
Plots	136890	0,8481	175	0,3685
Goujons	131894	0,8712	172	0,4981
Accouplement ∅93	99161	0,8884	17	0,5109
Roulement 6313	80400	0,9027	15	0,5222
Joint ∅100	74798	0,9158	298	0,7467
Roulement 6214	71610	0,9283	9	0,7535
Bague d'usure	65691	0,9399	12	0,7626
Roulement 6213	64039	0,9511	17	0,7754
Roulement 6312	47880	0,9595	3	0,7776
Roulement 3308	47229	0,9677	12	0,7867
Roulement 6414	34980	0,9739	6	0,7912
Joint ∅70	33120	0,9797	92	0,8605
Roulement 6307	31848	0,9852	15	0,8718
Tresse ∅ 14	27468	0,9900	43	0,9042
Roulement 6317	18800	0,9933	16	0,9163
Joint ∅250	15300	0,9960	51	0,9547
Tresse ∅10	13057	0,9983	31	0,9781
Tresse ∅8	9386	1	29	1

TABLE 3.11. Pareto's analysis results

$$C(T) = \frac{C_d(1 - R(t)) + C_p}{\int_0^T R(t)dt} \tag{3.7}$$

In the case of a preventive renewal, optimal time T_0 for the replacement is obtained by minimizing this expression. However, for the choice among the preventive and the curative, one can base on the comparison between the cost of the replacement of the element C_p and that of the failing C_d of the same element. So, preventive renewal is recommended only for the elements whose cost of the preventive is superior to the cost of the curative [8]. Results are recorded in the following table :

Elements	$C_d(DA)$	$C_s(DA/h)$	$C_m(DA)$	$r = C_d/C_p$	Maintenance type
Roulement NU314	756	1040	7800	0.085	Curative
Roulement 6412	756	1040	6800	0.096	Curative
Roulement 6411	756	1040	4750	0.130	Curative

TABLE 3.12. Choice of maintenance's type

3.6.1 Interpretation of results

The results of the table (12) show that the report of the cost of failing C_d on the cost of the renewal is sharply lower than 1. What drives to conclude that preventive renewal is not profitable

for all the studied elements. These results are confirmed with the curves' plans of the two renewals' costs, which appear that whatever is periodicity T , the cost of the preventive renewal $C(T)$ for all the elements is sharply superior to the cost of the curative renewal C_∞ . These results explain themselves by the fact that the cost of the cubic meter of water is very weak in front of the replacement's cost of the failing element.

3.7 AVAILABILITY STUDY

This part of the study is devoted to the study of the groups electropumps' availability, and consequently, that of the network. The objective is to know the factors that influence this availability, among the reliability, the maintainability and the logistics of maintenance. To do it, we have first to estimate the laws of maintainability and the pauses of the various classes of groups electropumps.

In the case of repairable system (as in our study), the probability of good functioning of a system stabilizes towards a constant value during time. This value characterizes the availability of the system [6].

According to the renewal limit theorem, availability D of a material is given by :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = D = \frac{MUT}{MUT + MDT}. \quad (3.8)$$

If $MDT \approx MTTR$ et $MUT \approx MTBF$, one will have :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}.$$

With

MUT : Mean Up Time.

MDT : Mean Down Time.

MTTR : Mean Time To repair.

MTBF : Mean Time Between Failure.

Having adjusted the times of good functioning, the times of repair and the pauses of the GEP, one estimated the availability of these last ones. In the first place by taking into account times annex in the repair, noted D_1 . Secondly, one let us consider only the times of repair, noted D_2 . So, one was able to estimate unavailability pulled by times annex in the repair ($D_2 - D_1$). Obtained results are put back in the following table : The network works on average in one year :

GEP	MUT	MTTR	MDT	D_1	D_2	$D_2 - D_1$
GEPH1	1719.26	17.55	75.18	0.958	0.990	0.032
GEPH2	1823.08	17.72	75.94	0.960	0.990	0.030
GEPH3	1286.70	16.49	117.98	0.916	0.987	0.071
GEPH4	1164.86	17.99	135.57	0.895	0.985	0.090
GEPH5	1179.31	16.47	151.94	0.886	0.986	0.100
GEPH6	1574.94	17.46	170.80	0.902	0.989	0.087
GEPH7	1768.78	15.40	189.90	0.903	0.991	0.088
GEPI1	3355.20	35.07	103.77	0.970	0.990	0.020
GEPI2	3693.60	30.62	114.23	0.970	0.992	0.022
GEPI3	4468.80	31.91	186.20	0.960	0.993	0.033

TABLE 3.13. Availability of the network’s GEP

- 85 % according to the variant 2, which corresponds at 7446 o’clock.
- 12 % according to the variant 3, which corresponds at 1051 o’clock.
- 2 % according to the variant 1, which corresponds at 175 o’clock.
- 1 % according to the variant 4, which corresponds at 87 o’clock.

The availability of every variant is obtained by combining the availability of the elements of the network with the same procedure as for the calculation of the reliability. The following table summarizes the rate of availability for every variant, as well as corresponding availability in the time of system’s functioning with this variant.

	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
Availability rate	0.905	0.894	0.792	0.775
Availability (hours)	158.4	6656.7	832.5	67.42

TABLE 3.14. Availability for system’s variants

3.7.1 Results interpretation

One notices according to the obtained results that the groups electropumps of drillings and central station present unavailability’s rate caused by times annex to the repair, relatively weak with regard to those groups electropumps of the other network’s stations. This explains itself by the importance of the impact over the return on the network in case of breakdown at the level of drillings or of central station, what drives service maintenance to take care of them first and foremost.

3.8 CONCLUSION

The objective of this study was the analysis of the experiences fastback of stations’ main equipments and harnessing’ fields of AEP’s network of Bejaïa’s city, so as to estimate their reliabilities, their availability and than, those of the various modes of the network’s functioning.

In a first stage, we made a functional analysis of the network, so we were able to model, from the point of view reliability, the various variants of the system’s functioning.

The second stage, evolved around the modeling of the main equipments' behavior of the network's infrastructures.

It revealed, on one part that the majority of the groups electropumps pump stations are subject to failings wear. On the other part, it revealed that the groups electropumps fields of harnessings are subject to unpredictable failings.

The economic study of the renewal showed that preventive renewal is not economically advisable.

Besides, The calculation of the groups electropumps' availability revealed that the availability of the fields of harnessing and the central station is more high than that of the other of the network's stations.

This study will allow the EDEMIA to estimate reliability and availability of the network by envisaging other modes of functioning, notably in the case of increase of the network's exploitation. It will also allow a help in making decision to raise the network's availability by the practice of redundancy on the least reliable infrastructures, or by setting up a better management of repairs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Aïssani D., Modélisation et simulation des systèmes Industriels, cours de post-graduation, Université d'Annaba, 1987.
- [2] Bon J.L., Fiabilité des systèmes-méthodes mathématiques, Ed. Masson, 1995.
- [3] Bouraine M., Les tests non paramétriques de fiabilité, thèse de Magistère, Université de Béjaïa, 2001.
- [4] Laggoune R., and Aïssani D., Repeat Failure Analysis for Oil Refinery Maintenance Optimization : case study of Skikda Refinery Compressing Magneforming. In the Book Mathematical Methods in Reliability, Proceedings of the International Conference MMR'2000, Bordeaux, July 2000, Vol. 2, pp. 671-674.
- [5] Lyonnet P., La maintenance mathématique et Méthodes, Ed. Techniques et documentation (Lavoisier), Paris, 2000.
- [6] Ruegg A., Processus stochastiques, Presse polytechnique Romand, 1989.
- [7] Oukaour N., Bouhamou F., Aïssani D., Experience Fastback Analysis for Maintenance Optimization at the Engine's depot of Béjaïa Harbor Compagny. In the Book Mathematical Methods in Reliability, Proceedings of the International Conference MMR'2000, Bordeaux, July 2000, Vol. I, pp. 59-62.
- [8] Rabahi A., Mendil S., Aïssani D., Adjabi S., Relative statistical Analysis of the Pumping Stations facilities running of the Algerian Oil Campagny Sonatrach. Proceedings of the EURO XVII (17th European Conference on Operational Research), Budapest, July 2000, pp. 121.

Analyse du retour d'expérience pour la planification de la maintenance Cas de l'oléoduc OB1 HeH-Bejaia

Kennouche A., Mammasse N., Aïssani D. et Saigh S.

lamos_bejaia@hotmail.com , tr_ken@hotmail.com

Résumé Le réseau algérien de transport d'hydrocarbures liquide relie par canalisation les champs sahariens de production de brut et de condensât aux sites d'exportation et de raffinage implantés sur le littoral. Les prévisions de production, en relation avec l'ouverture du secteur aux compagnies internationales se démarquent par une augmentation substantielle de la production globale. Ces perspectives sous-tendent la mise en place d'un plan pour le bon maintien des infrastructures matérielles. Le travail présenté dans cette communication concerne l'évaluation de la disponibilité des modes de fonctionnement de l'oléoduc reliant HEH - BEJAIA afin de réaliser l'objectif de production et planifier la maintenance des équipements relevant des stations de pompes SP2 et SP3. Le premier objectif est traité par l'approche Programmation de But et la résolution du programme est donnée par le Solver Excel. Le second objectif est formulé sous forme d'un problème de satisfaction de contraintes auquel nous avons élaboré un algorithme de résolution afin d'établir une répartition adéquate des heures de fonctionnement des équipements.
Mots clés : Fiabilité, disponibilité, Programmation de But (PB), Problème de Satisfaction de Contraintes (PSC).

4.1 Introduction

Depuis plus d'un siècle, le monde industriel n'a cessé de gagner en productivité et en fiabilité des systèmes. Actuellement, les principaux enjeux sont la sûreté, la disponibilité, les coûts (en particulier ceux de maintenance), et la durée de vie. Pour les entreprises, on peut surtout résumer ces enjeux par la compétitivité et la sûreté. Il faut donc diminuer les coûts de maintenance tout en maintenant, voire en améliorant, la productivité.

Le réseau algérien de transport d'hydrocarbures liquide relie par canalisation les champs sahariens de production de brut et de condensât aux sites d'exportation et de raffinage implantés sur le littoral. Les prévisions de production, en relation avec l'ouverture du secteur aux compagnies internationales et à la découverte de nouveaux gisements de brut et de gaz, se démarquent par une augmentation substantielle de la production globale de brut et de condensât. Ces perspectives sous-tendent l'élaboration d'un plan pour le bon maintien des infrastructures régissant sur l'oléoduc.

4.2 Présentation de la DRGB

La DRGB est l'une des cinq directions régionales de l'entreprise de Sonatrach, elle relève de la division exploitation de la branche transport. Elle a pour mission le transport, le stockage et la livraison des hydrocarbures (pétrole brut, condensât et gaz naturel).

Elle gère les ouvrages suivants :

L'oléoduc HEH Bejaia d'un diamètre de 24 pouces et d'une longueur de 668 km.

L'oléoduc Beni Mansour-Sidi Arcine d'un diamètre de 16 pouces et d'une longueur de 131 km.

Le gazoduc Hassi R'mel-Borj Mena ?l d'un diamètre de 42pouces et d'une longueur de 436 km. Les stations de pompage :

- SP1 Bis (sise à Djemâa).
- SP2 (sise à Biskra).
- SP3 (sise à M'sila).
- SBM (sise à Beni Mansour).
- Les stations satellites (SPA, SPB, SPC, SPD).
- Le parc de stockage (16 bacs de stockage) à Bejaia.
- Le port pétrolier.

Elle s'occupe aussi du chargement des navires citernes selon un planning périodique.

4.2.1 Description du pipeline OB1

L'oléoduc transportant le pétrole du Sahara jusqu'au terminal marin relie au départ HAOUD EL HAMRA à Biskra. Il passe ensuite par la périphérie de la ville de M'Sila. Il franchit le mont du HODNA à travers le col de SELATNA qui est le point le plus culminant de la ligne (1033m d'altitude). Il suit la vallée de l'Oued AZEROU, puis la vallée de la Soummam pour atteindre enfin le port marin pétrolier de Bejaia. [1]

Le pétrole perd de la pression le long de la ligne, à cause des différences d'altitude. Pour remédier à ce problème quatre stations principales sont implantées le long du pipeline. Dans le but d'augmenter la capacité de la ligne, quatre autres stations intermédiaires ont été implantées.

4.2.2 Description des stations de pompage

- Station SP1 : (HAOUD EL HAMRA) C'est la station de départ
- Station SP1 Bis (DJEMAA) : Elle assure un débit maximum de 2200 m³/h.
- Station SP2 (BISKRA)
- Station SP3 (M'SILA)

4.3 Position du Problème

Dans un contexte économique fortement concurrentiel, les métiers de la maintenance évoluent et deviennent un enjeu décisif pour les entreprises. Les activités de maintenance doivent s'adapter au développement technologique (automatismes, systèmes informatiques, . . .) et maîtriser les modes de gestion dans un objectif d'amélioration de la productivité totale et de rentabilité. Outre la réparation de l'outil de production, le service maintenance doit être en capacité d'anticiper et ainsi éviter les dysfonctionnements. On est passé d'une maintenance "curative" à une maintenance "préventive". L'entreprise SONATRACH partageant ces mêmes préoccupations se veut de réaliser les objectifs suivants :

- Optimiser la fiabilité du matériel.
- Assurer continuellement le bon état de fonctionnement des installations.
- Augmenter la productivité des installations et la capacité de production.
- Améliorer la sécurité du travail.[2]

Dans ce sens, nous proposons comme solution la planification de la maintenance dans le but de réduire les temps d'indisponibilité des équipements et assurer une meilleure productivité.

4.4 Analyse Statistique des données

4.4.1 Fiabilité du système [3]

L'étude de fiabilité se concentre sur les infrastructures des stations situées sur la ligne. Le calcul de la fiabilité du système passe par sa modélisation. Dans cette optique, la démarche préconisée consiste à fractionner le système en sous systèmes fonctionnels. Cette dernière prend la forme de blocs diagramme de fiabilité qui représentent les différentes relations entre les composants du point de vue fiabilité. La structure globale du système, constituée des différentes stations, est schématisée comme suit :

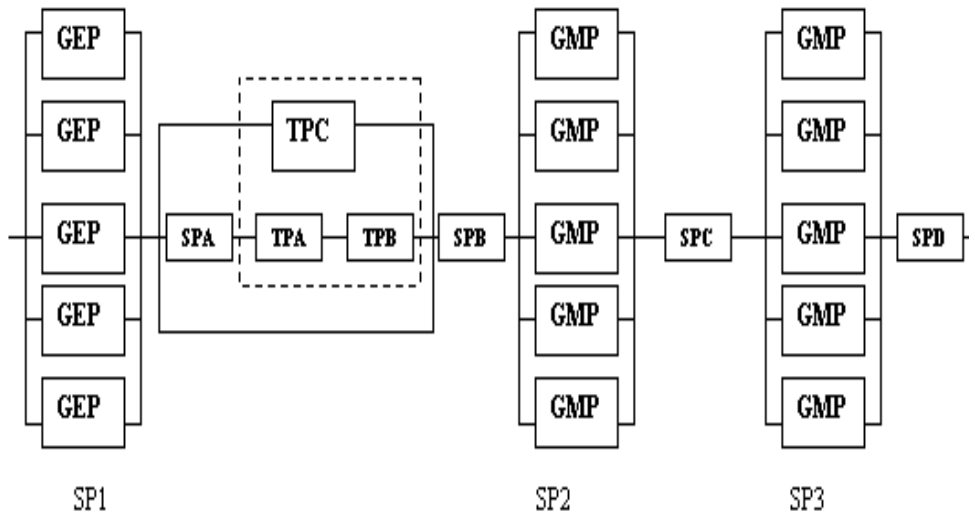


FIGURE 4.1. Diagramme de fiabilité de l'oléoduc

4.4.2 Modes de fonctionnement de la ligne

Actuellement, la ligne HEH-Bejaia peut fonctionner avec trois modes. Chaque mode est caractérisé par le débit de fonctionnement ainsi que les éléments à mettre en jeu. Un mode (phase) représente une variante du système global. Les modes de fonctionnement de la ligne sont présentés dans le tableau suivant :

4.4.3 Traitement des données

Le but essentiel de cette analyse est de déterminer la disponibilité des différents modes de fonctionnement. Pour ce faire, on procède d'abord au calcul de la disponibilité des GMP et des THM qui est donnée par la formule suivante :

$$D_{op} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Phase	Débit(m ³ /h)	Tonnage	Nombre de groupes par station
Phase 1	1800	12.41	SP1: 3 GEP SP1bis: 1 TPC SPB: 1 THM SP2: 3 GMP SP3: 3 GMP
Phase 2	1400	9.65	SP1: 3 GEP SP1bis: Néant SP2: 2 GMP SP2: 2 GMP
Phase 3	800	5.52	SP1: 1 GEP SP2: 1 GMP SP3: 1 GMP

TABLE 4.1. Tableau des modes de fonctionnement

Equip	N	Loi ajustée	test		Validé
			K-S	Khi 2	
GMP	56	Exp	D = 0.079 d _(57,0.05) = 0.172	D = 1.872 X _{2(5,0.05)} = 11.07	Oui / Oui
		lognormale	D = 0.082 d _(57,0.05) = 0.172	D = 0.076 X _{2(5,0.05)} = 11.07	Oui / Oui
THM	8	lognormale	D = 0.270 d _(85,0.05) = 0.457	x	Oui / Non

TABLE 4.2. Etude des temps de bon fonctionnement

4.4.4 Etude du temps de bon fonctionnement

En premier lieu, nous étudions le comportement des équipements en déterminant le temps de bon fonctionnement issu des échantillons construits à partir du retour d'expérience. En second lieu, nous procédons à l'ajustement par les tests de Kolmogorov Smirnov et le test du Khi-2.

Les deux lois du temps de bon fonctionnement, des GMP et des THM, peuvent être ajustée soit par une loi exponentielle ou par une loi de Weibull.

4.4.5 Etude de la maintenabilité

L'intérêt de cette étude est d'évaluer les moyennes de temps de réparations des actions de maintenance préventive ou correctives qui seront utiles dans le calcul des disponibilités. Ce qu'il faut signaler est que les différentes opérations de maintenance préventive sont établies selon le guide du constructeur et à priori le temps consacré à ces opérations devrait être constant.

Mais lors de l'étude statistique, nous avons constaté des variations dues à des imprévus tels que : l'indisponibilité de la pièce de rechange, sollicitations des moteurs au delà du délai de maintenance suite à une forte demande, accidents.

Nous donnons en premier lieu l'étude du temps moyen de réparation du curatif, Quant à l'étude des temps de réparation du préventif, les principaux résultats sont résumés ci-dessous :

Equip	N	Loi ajustée	test		Validé
			K-S	Khi 2	
GMP	56	Exp	D = 0.079 $d_{(57,0.05)} = 0.172$	D = 1.872 $\chi^2_{2(5,0.05)} = 11.07$	Oui / Oui
		lognormale	D = 0.082 $d_{(57,0.05)} = 0.172$	D = 0.076 $\chi^2_{2(5,0.05)} = 11.07$	Oui / Oui
THM	8	lognormale	D = 0.270 $d_{(85,0.05)} = 0.457$	X	Oui / Non

TABLE 4.3. Etude des temps de réparation du curatif

Equip	N	Loi ajustée	test		Validé
			K-S	Khi 2	
GMP	41	lognormale	D = 0.079 $d_{(41,0.05)} = 0.172$	D = 1.87 $\chi^2_{(41,0.05)} = 9.49$	Oui / Oui
THM	28	lognormale	D = 0.140 $d_{(28,0.05)} = 0.249$	X X	Oui / Non

TABLE 4.4. Etude des temps de maintenance

La loi du temps de réparation du curatif relatif aux GMP peut être ajustée par une soit loi exponentielle ou par une loi Lognormale.
La loi du temps de réparation du curatif relatif aux THM peut être ajustée par une loi Lognormale.

4.4.6 Etude de la disponibilité

Calcul de la disponibilité des équipements

Le tableau suivant résume les résultats.

Équipement	MTBF	MT curatif	MT préventif	Disponibilité
GMP	2915.45	44	792	77.71%
THM	2010.33	25.25	357.6	84.6%

TABLE 4.5. Maintenabilité des équipements

Calcul de la disponibilité des variantes

Après avoir calculé la disponibilité des équipements, on procède au calcul de la disponibilité des différentes variantes.

Notations :

- $R_{THM}(t)$: Fiabilité de la turbopompe de type THM(stations satellites et TPC)
- $R_{GMP}(t)$: Fiabilité du groupe motopompe
- $R_{GEP}(t)$: Fiabilité du groupe électropompe
- $R_{vari}(t)$: Fiabilité de la variante

Prenant pour exemple la variante1, c-à-d un débit de $1800\text{mp}^3/h$.

$$R_{var1}(t) = R_{SP1}(t) \times R_{TPC}(t) \times R_{SPB}(t) \times R_{SP2}(t) \times R_{SP3}(t)$$

$$R_{var1}(t) = R_{SP1}(t) \times [R_{THM}(t)]^2 \times [C_5^3 (R_{GMP}(t))^3 \times (1 - R_{GMP}(t))^2 + C_4^5 (R_{GMP}(t))^4 \times (1 - R_{GMP}(t)) + C_5^5 (R_{GMP}(t))^5]^2$$

On procède de la même manière pour les deux autres variantes.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci après.

	Var 1	Var 2	Vari 3
Disponibilité (%)	59.82	97.43	99.66
Disponibilité (heures/Année)	5240.23	8543.86	8730.21

TABLE 4.6. Disponibilité des variantes

4.5 Modélisation et résolution du problème

4.5.1 Formulation du problème de production

L'approche classique des problèmes de décision, c'est-à-dire l'optimisation d'une unique fonction économique est révolue car les situations réelles rencontrées dans l'industrie ne se résument pas à ce stade. C'est pour cette raison que différentes approches ont vu le jour.

Le modèle de la programmation de but "Goal Programming" (GP) est l'un des modèles les plus connus et les plus utilisés en Programmation Mathématique [4].

Dans cette section, nous présentons le modèle qui intègre l'objectif d'acheminement de la quantité de pétrole prévue selon la disponibilité des différents modes de fonctionnement.

Nous avons calculé dans un premier temps la disponibilité des différentes variantes. Nous allons à présent les utiliser pour déterminer les quotas d'heures de marche pour chacun de ces équipements.

Variables de décision

x_i : le temps pour lequel le système peut fonctionner avec le mode i , $i = 1..3$

Facteurs non contrôlables

D_i : disponibilité de la variante i .

Fonction objectif Le but est d'acheminer une quantité de pétrole prévue Q .

Contraintes

$$x_i \leq D_i$$

$$x_i \geq 0$$

Résolution du problème

Le modèle s'écrit alors de la manière suivante :

$$Max Z = \sum_i = 13C_i x_i$$

$$goal(X = Z)(Z = Q),$$

$$x_i \leq D_i,$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 3$$

L'utilisation du SOLVER Excel donne les résultats présentés ci-dessous :

$$x_1 = 5240.232,$$

$$x_2 = 2675.485,$$

$$x_3 = 844.283,$$

$$d^- = 0,$$

$$d^+ = 0,$$

Interprétation des résultats

Afin de réaliser le but fixé, la ligne HEH - Bejaia devrait fonctionner 59.82% du temps annuel avec trois moteurs, ce qui équivaut à un débit horaire de $1800m^3$, 30.54% avec deux moteurs équivalent à un débit horaire de $1400m^3$ et 9.64% avec un moteur (un débit de $800m^3$).
 $d^- = 0$ et $d^+ = 0$ explique le fait que le but est atteint, i.e la quantité initialement prévue sera totalement acheminée.

4.5.2 Répartition des heures de fonctionnement

Cette partie concernera la détermination des quotas d'heures à allouer à chaque moteur durant l'année.

5.2.a. Cas des THM et TPC

Le quota de la TPC et la THM SPB est de 5240 heures vu qu'elles n'interviennent que dans le mode 1.

5.2.b. Cas GMP

Les GMP interviennent dans les 3 modes, leur répartition doit alors obéir à leurs disponibilités individuelles.

La modèle de ce problème est :

$$x_i \leq D_i$$

$$\sum x_i = 15x_i = C$$

x_i : temps de fonctionnement du moteur "i".

Prenons le cas de SP2, le modèle est le suivant :

$$x_1 \leq 7884$$

$$x_2 \leq 6853$$

$$x_3 \leq 7270$$

$$x_4 \leq 6570$$

$$x_5 \leq 6006$$

$$\sum x_i = 15 = 21916$$

Pour résoudre ce type de modèle et en respectant à chaque fois la satisfaction du mode "j", un algorithme a été mis au point, les itérations le définissant sont décrites ci-dessous :

- (0) Mettre les valeurs dans un tableau noté $d[i]$;
- (1) Poser $i = 3$;
- (2) Trier le tableau par ordre décroissant ;
Récupérer les indices correspondants ;
- (3) Si $(\text{mode}[i] \ll 0)$ et $(i \ll 0)$ alors
Si $d[i] < \text{mode}[i]$ alors
Affecter $d[i]$ aux i variables correspondantes ;
 $\text{mode}[i] := \text{mode}[i] - d[i]$;
Aller à (2)
Sinon
Affecter $\text{mode}[i]$ aux i variables correspondantes ;


```

i := i - 1 ;
Aller 'a (2) ;
Fin si
Fin si
Si i = 0 alors Aller à (4) ;

```

(4) Terminer

Les résultats pour SP2 sont donnés comme suit :

Tab7.

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
5240	5240	5240	3520	2676

TABLE 4.7. Affectation des heures de fonctionnement

Nous constatons qu'il existe un déséquilibre dans les heures allouées aux moteurs. Ceci est dû à la satisfaction des modes en l'occurrence le mode 1.

On procède alors à un changement dans l'algorithme précédent. Le changement opéré est le suivant : au lieu d'affecter la totalité d'une valeur, on affecte la moitié de celle-ci. Le reste des instructions de l'algorithme est strictement le même.

Les résultats obtenus avec cet algorithme sont donnés comme suit :

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
5370	4449	4681	3980	3436

TABLE 4.8. Bis Affectation des heures de fonctionnement

4.6 Implémentation de l'application

Nous allons à présent développer une application permettant la planification de la maintenance. Pour se faire, nous commençons d'abord par la détermination des heures de fonctionnement de chaque mode, et ce, à l'aide de l'algorithme du simplexe.

Puis la mise au point d'un programme qui permettra la répartition des heures de fonctionnement des GMP de chaque station et enfin la détermination d'un planning de la maintenance préventive pour l'année.

L'application a été réalisée sous l'environnement DELPHI 7.

Maintenance Préventive

Nombre de modes à utiliser:

Quantité à transporter:

Manque à transporter:

Modes

	Mode1	Mode2	Mode3
Capacité	<input type="text" value="1800"/>	<input type="text" value="1400"/>	<input type="text" value="800"/>
Disponibilité	<input type="text" value="5240"/>	<input type="text" value="8535"/>	<input type="text" value="8730"/>

Résultats

Mode1	Mode2	Mode3
<input type="text" value="5240"/>	<input type="text" value="2676"/>	<input type="text" value="844"/>

FIGURE 4.2. Calcul des heures de fonctionnement des modes

Détermination des heures de fonctionnement des GMP

Station:

Modes

Mode1	Mode2	Mode3
<input type="text" value="5240"/>	<input type="text" value="2676"/>	<input type="text" value="844"/>

Disponibilité des GMP de SP2

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
<input type="text" value="7884"/>	<input type="text" value="6852"/>	<input type="text" value="7270"/>	<input type="text" value="6570"/>	<input type="text" value="6006"/>

Cumul d'heure des GMP de SP2

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
<input type="text" value="15000"/>	<input type="text" value="8000"/>	<input type="text" value="26000"/>	<input type="text" value="6700"/>	<input type="text" value="12800"/>

Quota de marche des GMP

GMP1	GMP2	GMP3	GMP4	GMP5
<input type="text" value="5370"/>	<input type="text" value="4449"/>	<input type="text" value="4681"/>	<input type="text" value="3980"/>	<input type="text" value="3436"/>

FIGURE 4.3. Détermination des heures de fonctionnement

Maintenant passons à la détermination d'un planning de maintenance préventive. Un algorithme est mis au point respectant les conditions suivantes :

- Deux révisions ne peuvent être programmées à la même période.
- Une révision partielle (RP) dure un mois. Par conséquent, il faut respecter ce délai entre une RP et une autre révision.
- Une révision générale (RG) dure presque deux mois. Par conséquent il faut respecter ce délai entre une RG et une autre révision.

Principales étapes de l'algorithme :

Etape (0) : Utilisation des résultats des deux précédents programmes en l'occurrence les heures de fonctionnement de chaque débit et le quota annuel alloué à chaque GMP.

Etape (1) : Si le temps est supérieur à 8760 et l'ensemble des machines est parcouru alors aller à 5 sinon aller à 2.

Etape (2) : Prendre une machine et lui attribué un quota mensuel. Si cette machine a atteint les 10000 (respectivement 40000) heures l'arrêter et aller à 3.

Etape (3) : Si le personnel est libre, alors programmer une RP (respectivement RG) et incrémenter le temps de la durée de la RP (respectivement RG).

Etape (4) : Incrémenter le quota attribué et retour à

Etape (5) : Quitter.

Les résultats sont donnés dans la figure ci-après.

	SP ₂					SP ₃				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quota	5370	4449	4681	3990	3436	4081	3963	3602	5906	4364
Cumul	15000	8000	26000	6700	12800	14500	6000	37000	21000	2100
Cumul fin d'année	20370	12449	30681	10690	16236	18581	9963	602	26906	6464
Mois de la révision	14	6	16	10	0	0	0	12	0	0
Type Révision	RP	RP	RP	RP	/	/	/	RG	/	/

FIGURE 4.4. Plan final de maintenance

4.7 Conclusion

Les résultats obtenus montrent que l'objectif de production sera atteint en utilisant les trois modes de fonctionnement. La répartition des heures de marche et la réalisation du plan de maintenance sont dressées selon la disponibilité des différents équipements.

Références

1. Sonatrach TRC. Pipe news, *bulletin bimestriel d'information de l'activité transport par canalisation*. Octobre 2004.
2. S.Sellami et O. Taggueb, *Planification de la maintenance préventive au niveau de la DRGB*, Dépt recherche opérationnelle, Université de Bejaia 2004
3. C.Coccoza-Thivenet. *Processus stochastiques et fiabilités des systèmes*.
4. B. Aouni, H. Goghrod et J-M. Martel, *Modélisation et simulation "Conception, analyse et gestion des systèmes industriels" MOSIS'01 - Troyes (France)*, 3^{me} conférence Francophone, 27 Avril 2001.

Optimisation de la Maintenance Préventive du Système du Parc de Stockage : Sonatrach-TRC- RTC Béjaïa

Adel-Aissanou K., Aissani D., Arkoub T. et Cherfaoui L.

lamos_bejaia@hotmail.com & ak_adel@yahoo.fr

Résumé Sur un site de stockage des hydrocarbures, la mise en place d'un plan de maintenance préventive des réservoirs de stockage s'intègre dans une stratégie de maintenance retenue pour un coût global minimum, mais aussi pour répondre aux exigences décrites dans les bonnes pratiques des visites de routines et les révisions sachant que la modélisation par les lois de fiabilités et les modèles paramétriques affirme que ces derniers sont en période de vieillesse (selon la loi de weibull).

Dans un premier temps, nous avons étudié la fiabilité des réservoirs du parc de stockage de la RTC-SONATRACH-Béjaïa. Puis, nous avons adopté une politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance.

Plus précisément, nous avons déterminé la période optimale des révisions partielles qui minimise le coût de la maintenance, tout en considérant l'efficacité de cette dernière. Afin d'examiner la possibilité d'optimiser la période des révisions générales, nous avons également étudié l'impact de l'efficacité de la maintenance sur les équipements.

Mots clés : Fiabilité, Politique de Maintenance, Optimisation de la Maintenance Préventive, Révisions Partielles et Générales.

5.1 Introduction

La recherche opérationnelle recouvre des méthodes et techniques rationnelles pour trouver la meilleure façon pour faire des choix et aboutir au résultat visé ou au meilleur résultat possible. C'est ce que l'on appelle une aide à la décision. A partir d'une modélisation pour analyser et maîtriser des situations complexes, elle permet à un décideur de mesurer les enjeux et de choisir l'option la plus efficace.

La recherche opérationnelle liée à l'ingénierie des systèmes et au management du système d'information s'appuie sur le raisonnement mathématique-logique, probabilité, analyse des données et la modélisation de processus. Elle aide à résoudre de sujets stratégiques (un investissement, une implantation "opérationnelle ou bien ordonnancement", gestion de stock, affectation de moyens humains ou matériels à des tâches, prévision de ventes.....). Le secteur de l'informatique s'en sert pour choisir les serveurs à mettre en place, stocker des données, etc [1].

L'industrie pétrolière l'utilise pour établir des plans de production, utilise des unités de raffinage, choisir le canal de distribution le plus rentable.

Le développement de l'économie moderne se traduit par une consommation toujours croissante d'énergie. Les hydrocarbures en parlant de pétrole brut constitue aujourd'hui la source d'énergie la plus utilisée. En effet, ils fournissent l'essentiel de la consommation mondiale en énergie. Cependant, une sélection de plus en plus sévère est entrain de s'opérer : le monde actuel ne demande pas seulement toujours plus d'énergie, il exige qu'elle soit fournie sous une forme appropriée et à des conditions avantageuses.

L'usage du pétrole comme matière première pour la fabrication de produits essentiels (médicaments, protéines alimentaires, plastiques) selon les experts devrait croître énormément à l'avenir. La découverte du pétrole en Algérie remonte à l'époque française et son exploitation industrielle a été gérée par la SOPEG en 1957 jusqu'à la création de SONATRACH en 1963.

SONATRACH est la compagnie nationale algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivées. Elle a pour missions de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays.

Depuis plus de 50 ans, SONATRACH joue pleinement son rôle de locomotive de l'économie nationale. Elle a pour mission de valoriser les importantes réserves en hydrocarbures de l'Algérie. Cet acteur majeur de l'industrie pétrolière, surnommé la major africaine, tire sa force de sa capacité à être un groupe entièrement intégré sur toute la chaîne de valeur des hydrocarbures. Elle exerce ses activités dans cinq activités opérationnelles, à savoir : Exploration-Production (E&P), Transport par Canalisations (TRC), Liquéfaction et Séparation (LQS), Raffinage et Pétrochimie (RPC) et l'activité Commercialisation (COM).

SONATRACH est classée première entreprise d'Afrique, C'est un acteur majeur de l'industrie pétrolière, c'est une entreprise pétrolière et gazière algérienne, elle est structurée de plusieurs régions. Nous nous intéressons à la région RTC -Béjaia (Région Transport Centre Béjaia) où nous avons effectué notre stage, cette dernière gère les différentes opérations liées à son fonctionnement (stockage, exportation, ..) et pour ce faire, elle assure l'acheminement d'hydrocarbures à travers des pipelines et des stations de pompage vers le terminal marin Béjaia, qui est composé d'un parc de stockage, et un port pétrolier pour l'exporter.

La performance du terminal marin se mesure par le temps, la rapidité des opérations et le coût. Ces facteurs sont conditionnés par une efficacité dans la planification et la gestion optimale de la maintenance. Sachant que la maintenance corrective est bien l'intervention lors de la panne et la maintenance préventive réalisée de manière préventive est essentielle. Elle permet de mieux éviter les défaillances et de mieux se préparer à ces événements indésirables lorsqu'ils surviennent, ce qui permet notamment de mieux gérer les coûts industriels. Elle cherche à rallonger la durée de vie des outils, qui peuvent coûter très chère lorsqu'il faut les réparer en urgence ou les remplacer.

Afin d'assurer un bon fonctionnement du terminal marin, plusieurs études ont été faites. Parmi les problématiques traitées :

La première et celle réalisée en 2004, son objectif est la conception et la réalisation d'un outil de gestion de la maintenance préventive à SONATRACH. Concerne la planification et la répartition des opérations de maintenance sur les différents équipements des stations de pompage de l'oléoduc HEH-Béjaia. Il s'agit d'élaborer un planning des interventions sur les équipements, tout en prenant en considération le nombre d'heures de fonctionnement de chaque machine, l'état de fonctionnement et la qualité du produit annuelle à transporter.

La deuxième est celle réalisée en 2014 [2], l'objectif du travail est de présenter la méthode de mesure des coûts de transport des hydrocarbures (pétrole brut et gaz naturel), et ce

afin d'expliquer les différents éléments qui pèsent lourdement sur les ressources de l'entreprise pétrolière.

La troisième est celle réalisée en 2016 [3], elle avait pour objectif de garantir une meilleure sécurité offerte par les systèmes de contrôle d'accès tout en essayant de trouver un équilibre entre le rapport coût/sécurité. D'où l'intérêt après avoir fait une étude de fiabilité d'essayer d'élaborer un plan de maintenance optimal permettant de minimiser le coût total de la maintenance en optimisant les périodicités des interventions.

La quatrième est celle réalisée aussi en 2016 [4], ils se sont intéressés à la modélisation du nombre de pannes des liens de transmission de la fibre optique dans la période 2011 jusqu'à 2015.

La cinquième est celle réalisée en 2016 aussi [5], l'étude se base donc principalement sur la modélisation et la résolution du RCPSP qui consiste en l'accélération du projet en mettant l'emphase sur le compromis durée/coût. Ils ont présenté une approche basée sur l'algorithme Tabou pour l'accélération de projets de taille importante, permettant de minimiser le temps de réalisation tout en déterminant le meilleur budget additionnel possible.

La sixième est celle réalisée en 2017 [6], cette étude se base principalement sur la modélisation et la résolution d'un RCPSP avec différentes ressources et chevauchement d'activités. Le chevauchement de ces activités consiste à les exécuter en parallèle i.e les exécuter de manière séquentielle, en autorisant l'activité en aval à débiter avant la fin de l'activité en amont à partir des informations préliminaires. Cela consiste en l'allocation des ressources financières, humaines et matérielles, de manière à atteindre des objectifs bien précis. Cependant le chevauchement des activités induit la surcharge des ressources et pour remédier à cette surcharge il faut faire appel au lissage de ces ressources. Ainsi, dans ce mémoire ils ont implémenté l'heuristique de lissage 'Burgess Killebrew'.

Et plusieurs d'autres études. Dans notre travail, nous nous focalisons sur les réservoirs de stockage situés au parc de la RTC- Béjaia, qui doivent répondre au souci de fiabilité. Cette dernière est une composante essentielle dans la sûreté de fonctionnement et participe à la disponibilité de ces derniers. Qui nous a conduit à réaliser une étude d'optimisation de la maintenance, Nous avons réalisé une étude d'optimisation de la maintenance préventive sur ces derniers, afin d'étudier leur disponibilité.

5.2 Analyse de la Fiabilité du Système de Parc de Stockage de la RTC-Béjaia

Notre travail consiste à déterminer la fiabilité du parc de stockage de la RTC-Béjaia. Pour cela, nous avons estimé les paramètres de la loi de "**Weibull**" à l'aide de logiciel "**EASYFIT**" des données collectées au niveau du parc de stockage sur lequel nous allons effectuer l'application. L'objectif de section est la modélisation de la fiabilité des sous-systèmes (réservoirs de stockages) du parc de stockage par la loi paramétrique "**Weibull**".

5.2.1 Mise en Oeuvre du Plan de Maintenance

Le plan de la maintenance de la RTC-Béjaia est constitué de différents niveaux de maintenance à différentes fréquences.

1. Maintenance Niveau 1

- Les visites de routine "Rondes des techniciens exploitant, et des techniciens sécurité du Terminal".
- Les inspections trimestrielles.
- Nettoyage aux alentours de bac et sur le toit du bac.
- Désherbage de la cuvette de rétention.
- Vérification visuelle des éléments constituant le bac.
- Inspection mensuel de sécurité "HSE" :
 - a) Vérification de systèmes anti-incendie.
 - b) Vérification des diffuseurs.
 - c) Vérification des déversoirs.
- Inspection et étalonnage des instruments de mesure " Télé-jaugeur, fin de course des vanne, radars de niveau".
- Vérification de l'adhésion et d'étanchéité des joints.
- Mesure et vérification de la mise à la terre et des liaisons équipotentielles.

2. Maintenance Niveau 2 "Révision partielle"

- Réparation de certains équipements constituant le bac.
- Interventions au niveau de la vanne pied de bac, agitateurs, échelle.
- Intervention au niveau des appareils de mesure.
- Vérification et remise à niveau de la protection cathodique.
- Nettoyage et interventions sur les pompes de récupération de brute.
- Etalonnage des instruments de mesure "Télé-jaugeur, fin de course des vanne et radars de niveau".

3. Maintenance Niveau 3 (Réhabilitation du bac) "Révision générale"

- Nettoyage du réservoir.
- Inspection : C'est une expertise qui consiste à :
 - a) Etudier l'état du fond par
 - ● Un contrôle visuel.
 - ● Un contrôle ventouse.
 - ● Mesure d'épaisseur.
 - b) Localiser les tôles éventuellement perforées.
 - c) Identifier le type de corrosion son importance et sa répartition.
 - d) Déterminer l'état du dessous du toit et ses accessoires.
- Réfection totale du bac.
 - a) Réfection du fond.
 - b) Réfection de toit du bac.
 - c) Reconstitution de la fondation.
 - d) Réfection des Tôles.
 - e) Réfection des tôles périphériques.
- Contrôles et essais.
- Travaux divers : comme le
 - a) Remplacement des joints d'étanchéité des toits des bacs.

- b) Remplacement de la tuyauterie d'évacuation des eaux pluviales "CHIKSAN" par un flexidrain adéquat pour les trois bacs.
 - c) Remplacement des tuyauteries de purge, tuyauterie de drainage des eaux pluviales.
 - d) Remplacement de tous les joints des liaisons bridées (porte de visite, vannes, agitateurs, etc).
 - e) Remplacement des tampons de jauge par démontage, fourniture et pose de nouveaux.
 - f) Remplacement de toute la boulonnerie.
 - g) Remplacement des panneaux déflecteurs petit modèle par le type grand modèle et réparation des grands existants.
- Changement des vannes de purges.
 - Remise en état du réseau prémélange.
 - Remise en état des lieux.
 - Remise en état de la cuvette de rétention.
 - Essais d'étanchéité et tests hydrauliques.
 - Nettoyage définitif et repli de chantier.

5.2.2 Collecte des Données

Lorsque les réservoirs tombent en panne, les défaillances seront réparées, et la période de leurs réparation varie (selon sa capacité, les conditions météorologiques, le degré de l'usure, etc). Après avoir eu des informations formelles auprès de l'ingénieur responsable de département exploitation concernant les dates de la défaillance des réservoirs et leurs instants de remise en service dans la période s'étalant de 2007 à 2021, nous avons calculé leurs durées de bon fonctionnement cités dans le tableau 5.1.

Nom de réservoir	La dernière date de remise en service	La date de défaillance	La durée de bon fonctionnement
M20	10/2002	02/2007	04 ans et 4 mois \simeq 52 mois
R13	06/2008	02/2016	07 ans et 8 mois \simeq 92 mois
D10	03/2009	10/2012	03 ans et 7 mois \simeq 43 mois
C9	09/2010	11/2015	05 ans et 2 mois \simeq 62 mois
N14	01/2011	04/2019	08 ans et 3 mois \simeq 99 mois
B11	07/2013	12/2019	06 ans et 5 mois \simeq 77 mois
E1	08/2014	6/2021	06 ans et 10 mois \simeq 82 mois

TABLE 5.1. Données collectées de durée de bon fonctionnement des réservoirs

Nous avons récupéré les types des défaillances survenus sur cette période, qui sont présentés dans le tableau 5.2.

Nom de réservoir	Type de défaillance
M20	Feu de joint causée par une foudre
R13	Feu de joint causée par une foudre
D10	Une fuite au niveau de fond de réservoir
C9	Fuite au niveau de flexible et de drainage des eaux de pluie
A7	Fuite au niveau de flexidran "Chiksan"
B11	Défaillance de suocintin de vapeur
E1	Détachement de flexidran du toit du bac

TABLE 5.2. Les types de défaillance

5.2.3 Modélisation Paramétrique des Loïs de Fiabilité du Système de Parc de Stockage

La démarche probabiliste permet la modélisation réaliste et la quantification des effets des défaillances du système (réservoirs de stockage). Ainsi, elle permet d'orienter les opérations de maintenance, en fonction de sa configuration sur les paramètres du système.

Qui nous mène à distinguer les réservoirs qui fonctionnent en parallèle et indépendamment l'un de l'autre.

Soit T la variable aléatoire qui représente la durée de bon fonctionnement des réservoirs.

Nous avons opté pour la loi de **Weibull**, car elle définit le taux de défaillance de l'élément (l'âge de l'équipement) et largement utilisée comme modèle probabiliste dans des études sur les temps de survie, et nous avons estimé et ajusté avec le test de Kolmogorov-Smirnov ces deux paramètres avec le logiciel "**Easyfit**".

1. Identification des paramètres de Weibull

L'estimation des paramètres par le logiciel **Easyfit** nous donne les résultats de tableau 5.3 :

Distribution	Le paramètre β	Le paramètre η
Weibull	3.125	76.356

TABLE 5.3. Identification des paramètres de Weibull

2. Validation du modèle avec le test d'ajustement Kolmogorov-Smirnov

Pour valider si la variable aléatoire T suit la loi de Weibull de paramètres estimés β et η , nous avons appliqué l'ajustement de Kolmogorov-Smirnov sous les hypothèses suivantes :

H_0 : "La variable aléatoire T suit la loi de Weibull de paramètres $\beta = 3.125$ et $\eta = 76.356$ "
 contre H_1 : "La variable aléatoire T ne suit pas la loi de Weibull de paramètres $\beta = 3.125$ et $\eta = 76.356$ ".

Avec le logiciel **Easyfit** qui nous a donné les résultats présentés dans le tableau 5.4 :

α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique D_n	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581
Rejeter ?	Non	Non	Non	Non	Non

TABLE 5.4. Résultats d'ajustement

D_{max} : L'écart maximal entre la fonction de répartition empirique et la fonction théorique,
 $D_{max} = 0.21321$.

D_n : Est la valeur critique de la table de Kolmogorov-Smirnov, si nous prenons par défaut le risque d'erreur $\alpha = 0.05$, $D_n(n=7, \alpha = 0.05) = 0.48342$.

D'où : $D_n \geq D_{max}$

\Rightarrow L'ajustement est accepté.

1. La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{3.125}{76.356} \left(\frac{t}{76.356} \right)^{2.125} e^{-\left(\frac{t}{76.356} \right)^{3.125}}, \quad t \geq 0. \quad (5.1)$$

2. La fonction de répartition

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{76.356}\right)^{3.125}}, \quad t \geq 0. \quad (5.2)$$

3. le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{3.125}{76.356} \left(\frac{t}{76.356}\right)^{2.125}, \quad t \geq 0. \quad (5.3)$$

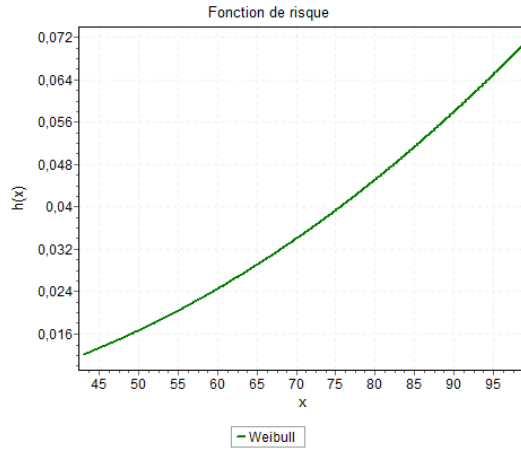


FIGURE 5.1. Le taux de défaillance du parc de stockage

Nous remarquons que le taux de défaillance est croissant, ce qui signifie que le parc de stockage est en période de vieillesse.

- **Le temps moyen de bon fonctionnement**

$$MTBF = A * \eta + \gamma = A * \eta. \quad (5.4)$$

d'après la table de la loi de Weibull : $A= 0.89431$

$$MTBF = 0.89431 * 76.3562 = 68 \text{ mois}. \quad (5.5)$$

- **La fiabilité des réservoirs**

Les sous-systèmes (les réservoirs) du parc sont en parallèle, la panne de l'un de ces réservoirs ne provoque pas la panne de tout le système.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{76.356}\right)^{3.125}}, \quad t \geq 0. \quad (5.6)$$

$$R(MTBF) = e^{-\left(\frac{MTBF}{76.356}\right)^{3.125}} = e^{-\left(\frac{68}{76.356}\right)^{3.125}} = 0.49. \quad (5.7)$$

5.2.4 Interprétation des Résultats

D'après l'étude statistique appliquée sur le parc de stockage, nous avons calculé les temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) pour estimer la fiabilité de chaque réservoir. Le paramètre de forme β est supérieur à 1, ce qui signifie que les réservoirs sont dans la période de vieillesse.

L'application du test de Kolmogorov-Smirnov a montré que la loi de Weibull est acceptée pour calculer les valeurs de fiabilité. Les résultats obtenus ont montré que les réservoirs à une fiabilité réduite, cela nécessite une planification des révisions partielles à des périodicités optimales.

5.3 Optimisation de la Maintenance du Système du Parc de Stockage de la RTC-Sonatrach

Les réservoirs de stockage de Sonatrach sont soumis à trois actions de maintenance :

- Une réparation minimale en cas de défaillance.
- Une révision partielle.
- Une révision générale après un certain âge kT .

Le but de notre étude est de proposer une périodicité T optimale pour les révisions partielle, qui minimise la fonction du coût global $C(T)$.

5.3.1 Modèle d'Optimisation Proposé

La politique de maintenance suivie au sein de la RTC-Béjaia, telle que chaque réservoir est soumis à une maintenance imparfaite avec réparation minimale à la défaillance. En effet, nous avons alors opté pour le modèle de Gertsbakh, qui est adéquat à ce type de maintenance.

Une nouvelle unité commence à fonctionner à $t = 0$. A chacun des instants $T, 2T, 3T, \dots$ l'unité est réparée, de même élément. Nommé la maintenance préventive (MP), coûte C . A chaque défaillance qui apparaît entre les MP, l'unité est également réparée. Cette réparation lors d'une défaillance s'appelle une réparation minimale (*min*) et coûte C_{min} . L'information disponible est le c.d.f. de l'unité de bon fonctionnement $F(t)$.

- Une réparation minimale en cas de défaillance.
- une révision partielle de périodicité T .
- Une révision générale des reervoirs à toits flottants après un certain âge fixé $kT = 10$ ans, c'est par rapport au certificat de barèmage que nous ne pouvons pas modifier sa durée qui est 10 ans.

5.3.2 Politique de Maintenance Périodique Imparfaites et Réparation Minimale

Suivant cette politique, l'élément n'est pas remplacé périodiquement mais reçoit juste des maintenances imparfaites. Dans notre étude, nous pouvons citer un reservoir de stockage qui reçoit périodiquement des révisions partielle et des révision générale. Ce qui voudra dire que le taux d'occurrence de défaillances va changer après chaque action de maintenance préventive. Dans ce cas, il faut mesurer l'effet de chaque maintenance sur le système. Le taux de défaillance du système, après chaque maintenance sera exprimé en fonction de cet effet et du taux de défaillance

précédent.

Nous donnons le modèle de Gertsbakh [7], où il suppose que l'effet de toutes les maintenances préventives est constant, il fait varier le taux de défaillance exponentiellement, d'une quantité égale à e^σ ($\sigma > 0$). Le coût moyen par unité de temps est donné par :

$$C(T) = \frac{C_{min}N(T)(1 + e^\sigma + \dots + e^{\sigma(K-1)}) + (K - 1)C_{mp} + C_{rv}}{KT} \quad (5.8)$$

On a :

$$(1 + e^\sigma + \dots + e^{\sigma(K-1)}) = \frac{e^{K\sigma} - 1}{e^\sigma - 1} \quad (5.9)$$

On définit la politique la plus adéquate celle de remplacement périodique imparfaite et réparations minimale (suite à une défaillance l'élément reçoit une réparation minimale).

C_{min} : Coût de réparation minimale.

C_{mp} : Coût de maintenance préventive imparfaite (révision partielle).

C_{rv} : Coût de la révision générale (hors exploitation).

σ : facteur de l'efficacité de la maintenance.

e^σ : Facteur de dégradation.

Pour une loi de fiabilité de type Weibull $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} (\frac{t}{\eta})^{\beta-1}$. Sachant que pour des réparations minimales après défaillance le processus d'occurrence des pannes est de type Processus de Poisson non Homogène, donc le nombre de défaillances sur un intervalle de temps de longueur T est donné par :

$$N(T) = \int_0^{kT} h(t)dt = (\frac{kT}{\eta})^\beta \quad (5.10)$$

ce qui donne :

$$C(T) = \frac{C_{min}(\frac{kT}{\eta})^\beta (\frac{e^{k\sigma} - 1}{e^\sigma - 1}) + (k - 1)C_{mp} + C_{rv}}{kT} \quad (5.11)$$

L'annulation de la dérivée de $C(T)$ donne :

$$T^* = \left(\frac{[(k - 1)C_{mp} + C_{rv}](e^\sigma - 1)}{(\beta - 1)[C_{min}(\frac{k}{\eta})^\beta](e^{k\sigma} - 1)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.12)$$

5.3.3 Estimation des Coûts pour les Réservoirs

L'estimation des coûts a été faite, en se ramenant vers la réalité, tels que :

Coût de réparation minimale : $C_{min} = 5000$ DA.

Le coût de la maintenance préventive imparfaite (révision partielle) : $C_{mp} = 20000$ DA.

coût de révision générale : $C_{rv} = 150000$ DA.

5.3.4 Résultats de l'Optimisation

Après le calcul de la formule T^* , nous avons obtenu le tableau 5.5 :

$k \backslash \sigma$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
2	73.06	70.5339	67.8828	65.1354	62.3223
3	43.5972	40.5498	37.4096	34.2534	31.1524
4	30.2758	27.0739	23.8554	20.7471	17.8470
5	22.8217	1.5828	16.4258	13.5192	10.9629
6	18.1065	14.8802	11.8479	9.2027	7.0199
7	14.8753	11.6872	8.8118	6.4464	4.6199
8	12.5325	9.3976	6.6962	4.6074	3.0998

TABLE 5.5. Temps optimaux de réparations minimales du système en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité

D'après les calculs précédent, Nous avons calculés le coût $C(T)$ représenté dans le tableau 5.6 :

$k \backslash \sigma$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
2	2274.5	1667.5	1595.1	1604.8	1976.4
3	2423	2017.5	2070.2	2213.7	2410.3
4	2644.6	2419.5	2641.5	2996.9	3465.2
5	2902.5	872.5	3328.6	4010	4930.5
6	3184.2	3380.9	4157.5	5323.4	6967.7
7	3484.7	3951.4	5158.6	7027	9797
8	3801.8	4591.8	6368.2	9234.9	13720

TABLE 5.6. Coûts optimaux de réparations minimales du système en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité

5.3.5 Interprétation des Résultats

Pour trouver la périodicité T^* optimale qui minimise la fonction de coût, nous considérons le coût minimal dans le tableau (5.6) qui est égal à 1595.1 DA, pour $\sigma = 0.5$ et $k = 2$ nous constatons que $T^* = 67$ mois = 5 ans et 7 mois, qui est la période optimale de chaque révision partielle, et après k cycle avec $k = 2$), ça nous donne $kT = 134$ mois = 11 ans et 2 mois, mais la date prévue pour la révision générale est 10 ans donc pour celà nous avons fait le réarrangement sur la période optimale de la révision partielle T .

Nous avons obtenue la période optimale de chaque révision partielle $T = 5$ ans et la date de révision générale $kT = 10$ ans.

5.4 Conclusion

L'optimisation de la maîtrise d'un système est donc devenu un enjeu capital pour la survie de la pérennité des entreprises. Ainsi, il est devenu indispensable d'assurer sa disponibilité, en analysant leur fiabilité et d'optimiser leur conditions d'exploitation en vue d'une maintenance préventive optimale.

En effet, les notions de coût, qualité et fiabilité ont de plus en plus d'importance, Il est vital de pouvoir s'appuyer sur un système performant à tout instant.

L'objectif principal de ce travail est l'élaboration d'un planning de maintenance préventive des réservoirs de stockage du parc RTC- Béjaia SONATRACH. Ce planning résume l'analyse de la disponibilité de ces derniers, en se basant sur le calcul de leur fiabilité.

Dans la première partie de ce travail, nous avons décrit le système étudié ainsi que son mode de fonctionnement. En suite, nous avons modélisé du point de vue fiabilité, en recourant à l'approche paramétrique et en utilisant l'estimation et l'ajustement avec le test de Kolmogov-Smirnov pour la validation de notre système avec le logiciel "**EasyFit**".

Nous avons opté pour l'utilisation de la loi de Weibull à deux paramètres, qui possède l'avantage de modéliser les trois phases de la vie d'un composant.

Nous avons réalisé une analyse statistique des données relative au temps de bon fonctionnement. L'ajustement avec le logiciel "**EasyFit**" a fait ressortir que la valeur de β de la loi Weibull, pour le système est supérieure à 1. Cela permet d'affirmer que le système se dégrade par vieillissement (taux de défaillance croissant), d'où la justification du recours à la maintenance préventive.

D'autre part, afin de déterminer le système le moins fiable, nous avons calculé son temps moyen de bon fonctionnement MTBF et la fonction de fiabilité des réservoirs.

Dans la deuxième partie, nous avons opté pour une politique de maintenance préventive périodique avec réparation minimale à la défaillance, ou nous avons considéré que les maintenances périodiques sont imparfaites. Cette politique est la plus utilisée dans l'industrie, vu que c'est l'une des politiques qui reflètent le mieux la réalité industrielle.

Après avoir attribué σ appelé facteur d'efficacité pour chaque maintenance préventive faite sur la réduction du taux de défaillance, avec e^σ et cela en le faisant varier entre $[0.1, 0.9]$. Ensuite, nous avons appliqué le modèle de Gertsbakh dans le but de trouver les périodicités optimales T des révisions partielles qui minimisent le coût total de la maintenance. Elle nous a permis l'obtention de la période T ceci montre qu'il faut procéder à faire des révisions partielles chaque 5 ans et à des révisions générales au bout de 10 ans.

En termes de perspectives, Nous proposons :

- Une étude basée sur l'analyse approfondie de la fiabilité au niveau des équipements constituant le réservoir et ce, afin de déterminer le stade de vie des équipements.
- De compléter notre étude, en rajoutant tous les réservoirs de la ligne OB1 et de distinguer les réservoirs à toit fixe des réservoirs à toit flottant.
- De réaliser une étude économique (optimisation de coût) tout en appliquant le modèle de Gertsbakh en modélisant les temps de réparation TTR (Time To Repair) dans le but de réduire le temps de réparation de chaque phase de maintenance.
- Une étude basée sur l'utilisation de la télémaintenance et la technologie comme outils. En premier lieu, cela au diagnostic des défaillances lors des inspection et les visites de routines. Deuxièmement, comme outils d'aide à la décision et le choix de la politique de maintenance adéquate.

Remerciement

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de fin d'étude à l'entreprise SONATRACH-TRC-RTC-Béjaia. Nous tenons à remercier les responsables de la RTC-Béjaia pour leur collaboration et surtout pour nous avoir facilité l'accès aux données nécessaires pour la réalisation de ce travail.

Références

1. Litali A., "La Recherche Opérationnelle un formidable outil d'aide à la décision", Paris, 2015.
2. Rahmouni B., "Évaluation du coût de transport des hydrocarbures en Algérie, Cas de la DRGB-SONATRACH", mémoire de Master, Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2014.
3. Dadi S. et Ouarab N., "Analyse de la fiabilité et optimisation de la maintenance préventive du système de contrôle d'accès : cas de SONATRACH RTC-Béjaia", mémoire de Master, Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.
4. Boukhezar F. et Hammouche S., "Etude de fiabilité de la ligne de Fibre Optique Sonatrach (RTC Béjaia-RTH)", mémoire de Master, Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.
5. Djabout M. et Nasri N., "Minimisation bicritère entre la durée et le coût d'ordonnancement d'un projet avec ressources limitées Cas d'un projet de Sonatrach", mémoire de Master, Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.
6. Deradra N. et Kedjar N., "Ordonnancement du projet de rénovation de la base de vie de la station de pompage SP3-OB1 (W. M'Sila)", mémoire de Master, Département de recherche opérationnelle, Université de Béjaia, 2017.
7. Gertsbakh I., "Reliability theory with applications to preventive maintenance", Springer, Berlin Allemagne, 2000.
8. Aissani D., Modèles stochastiques de la théorie de fiabilité, volume 1 Fondement théorique, Office des Publications Universitaires Alger, 1992.

Disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise des corps gras de Béjaïa COGB

Anzi A., Touche N., Aïssani D. et Bouraine M.

lamos_bejaia@hotmail.com, anzi_aicha@yahoo.fr

Résumé L'importance des coûts pouvant résulter d'un arrêt accidentel des lignes de production a donné un grand élan aux études de fiabilité et de disponibilité des systèmes de production. C'est l'une des raisons qui avait conduit les responsables de l'entreprise COGB (Corps gras de Béjaïa) à déterminer la disponibilité de la chaufferie en se basant sur le calcul de la fiabilité et de la maintenabilité de ses équipements (cf. Mémoire de F. Acheuk et M. Hassaim, 2004). Les mesures prises suite à cette première étude (Nouvelles méthodes de travail, changement de pièces,...) ont conduit à la modification du système initial. L'objectif de notre travail est d'apprécier l'état actuel de la chaufferie de l'entreprise COGB en évaluant la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de ses équipements. Pour ce faire, des modèles de prévisions du nombre de pannes des équipements ont été élaborés en utilisant la méthode de lissage exponentiel de Winters et la méthode de Box et Jenkins. Puis, les lois paramétriques et non paramétriques ont été utilisées dans le but de modéliser le comportement des équipements. Enfin, la maintenabilité a été modélisée en utilisant les lois paramétriques, et le fonctionnement des réseaux étudiés a été modélisé par les chaînes de Markov afin de déterminer leurs disponibilités.

Mots Clés : *Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Prévisions, Lois et tests non paramétriques.*

1. INTRODUCTION

Dans un contexte de "juste-à-temps", les arrêts accidentels d'un système de production sont considérés comme une source de perturbation et de perte de productivité. La disponibilité des équipements, au moment voulu, est une condition nécessaire au bon déroulement de la production et au respect des délais de livraison.

Les entreprises réalisent aujourd'hui que les coûts liés aux arrêts accidentels des équipements affectent directement leur rentabilité. Le choix s'impose d'utiliser ces équipements au maximum et à cette fin, les entreprises se doivent d'en étudier l'aspect de fiabilité et de disponibilité. Rappelons que la fiabilité d'un équipement donné, est une caractéristique exprimée par la probabilité qu'il accomplisse la fonction pour laquelle il a été conçu, dans des conditions données et pendant une période donnée. La disponibilité représente la proportion du temps de bon fonctionnement de l'équipement.

C'est en 1998 que les responsables de l'entreprise COGB ont pris conscience de l'importance de l'application des méthodes de la fiabilité et de la disponibilité. En effet, un accident tragique s'est produit. Une explosion d'une chaudière de la chaufferie de l'entreprise a engendré des pertes humaines et matérielles considérables.

C'est dans ce contexte qu'une étude avait été initiée au sein de l'entreprise [1]. Elle consistait à déterminer la disponibilité de la chaufferie en se basant sur le calcul de la fiabilité ainsi que la maintenabilité de ses équipements. Les résultats obtenus ont révélé que la majorité des équipements étudiés étaient dans leur période de jeunesse avec un taux de défaillance décroissant.

Ceci n'était pas le cas de la pompe doseuse (58F3001) qui présentait un taux de défaillance croissant, donc avait entamé sa période de vieillesse. Ce qui suggèrait l'application d'une politique de maintenance adéquate. Concernant la disponibilité, celle-ci avait été calculée pour deux réseaux de la chaufferie, à savoir le réseau de fabrication de la vapeur et le réseau de fabrication de l'air comprimé. Les valeurs obtenues avaient montré que ces réseaux ont une disponibilité très élevée. Ceci signifie que la chaufferie était prête à fabriquer de la vapeur et de l'air comprimé à tout moment.

Suite à ces résultats, l'entreprise COGB a mis sur pied un programme concernant les méthodes de travail. Il s'agit plus précisément de la gestion des équipements de la chaufferie, notamment ceux montés en redondance passive. De plus, l'entreprise a procédé au remplacement de la pompe doseuse (58F3001).

2. FONCTIONNEMENT DE LA CHAUFFERIE

L'atelier chaufferie a un rôle fondamental dans le complexe COGB. Il alimente les différents ateliers en vapeur, en eau traitée et en air comprimé. Il est doté d'un bassin de stockage de l'eau de capacité $1000m^3$ qui se trouve à l'intérieur du complexe ; cette eau est utilisée pour la fabrication de la vapeur, la fabrication de l'eau adoucie et osmosée.

La production de la vapeur passe par les trois étapes suivantes :

- Production de l'eau décarbonatée ;
- Production de l'eau de la bêche alimentaire ;
- Fabrication de la vapeur par les chaudières.

La fabrication de l'eau adoucie se fait à l'aide des adoucisseurs pour une déminéralisation partielle ; cette eau adoucie est utilisée pour :

- Produire de l'eau osmosée ;
- Produire de l'eau procédée ;
- Refroidir les équipements ;

L'eau osmosée se fabrique à l'aide des osmoseurs, qui fonctionnent en Redondance passive.

3. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

3.1 Collecte des données

Dans ce travail, nous complétons la collecte réalisée dans [1]. Nous avons considéré les données pour la période allant du 09/01/04 au 31/03/06.

Lors de la collecte, nous avons consulté plusieurs sources :

- ▶ Demandes de travail au niveau du service méthodes.
- ▶ Registres du suivi du fonctionnement des chaudières au niveau du service utilités.
- ▶ Registre du suivi des opérations de maintenance au niveau du service maintenance.

Ces sources ne sont disponibles que pour la période du 01/01/04 au 31/03/06. Pour la période allant du 09/01/1999 au 01/01/04, nous avons utilisé les données déjà collectées dans [1].

Les informations collectées concernent :

- Les instants de défaillance des équipements.
- Les dates de remise en service.
- Les durées d'intervention (réparation).
- Les coûts d'intervention en Homme/heure.

4. CHOIX DES EQUIPEMENTS A ETUDIER

Vu le nombre des équipements de la chaufferie, l'étude statistique de chacun d'entre eux se révélera longue. Afin de déterminer les éléments critiques, on a effectué une analyse ABC en se basant sur le nombre de pannes, ainsi que les coûts d'arrêt (en Homme/heure) engendrés par chaque équipement.

Le graphe de Pareto associe est présenté dans la figure suivant :

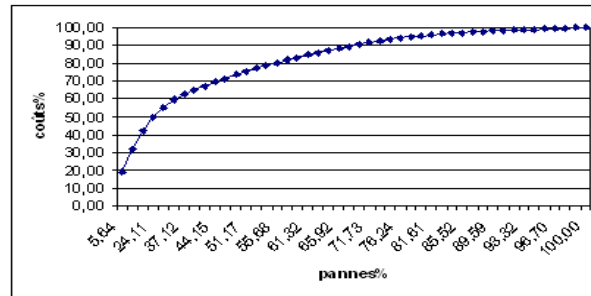


FIGURE 6.1. Courbe de Pareto

L'analyse effectuée a révélé que 38,77% des pannes sont à l'origine de 65,06% des coûts d'arrêt. Elle nous a permis également de ressortir les équipements critiques de la chaufferie et qui sont donnés dans le tableau suivant :

Code	Désignation
6651001	Compresseur N°01
6651002	Compresseur N°02
4500001	Chaudière EMK
4501001	Chaudière Bono
4502001	Chaudière Babcock
58S3001	Pompe alimentaire
5842001	Pompe doseuse
2368001	Collecteur de vapeur

TABLE 6.1. Les équipements de la zone A de Pareto

5. PREVISIONS

Les équipements ressortis dans l'analyse de Pareto sont les plus coûteux en terme de maintenance. Afin de prévoir l'évolution du nombre de pannes de ces équipements, nous avons effectué une étude prévisionnelle en utilisant deux méthodes de modélisation :

- La méthode de lissage exponentiel.

• La méthode de Box et Jenkins.

Pour cela, on a considéré la série d’observations trimestrielles représentant le nombre de pannes enregistrées pour la période allant de 1999 à 2006 ; et dont le graphe est donné par la figure 2.

Année	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
1999	9	7	14	15
2000	6	21	19	20
2001	17	14	7	17
2002	14	9	26	26
2003	15	17	27	21
2004	13	10	20	21
2005	14	15	17	4
2006	19			

TABLE 6.2. Nombre de pannes des équipements durant la période 1999-2006

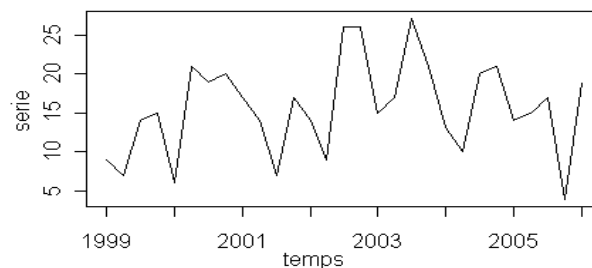


FIGURE 6.2. Graphe de la série originale

a) Modélisation par le lissage exponentiel

Cette série a été modélisée par le modèle multiplicatif de Winters. Les prévisions pour les trois autres trimestres de l’année 2006 ainsi que les quatre trimestres des années 2007 et 2008 sont obtenues par la relation :

$$\hat{Y}_T(k) = [\hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T)]\hat{S}_{T+k}$$

et sont données dans le tableau suivant :

Année	$\hat{Y}_{trimestre1}$	$\hat{Y}_{trimestre2}$	$\hat{Y}_{trimestre3}$	$\hat{Y}_{trimestre4}$
2006		13.25	17.96	10.48
2007	17.28	13.25	17.96	10.48
2008	17.28	13.25	17.96	10.48

TABLE 6.3. Prévisions obtenues par le lissage multiplicatif de Winters

b) Modélisation par Box et Jenkins

Le modèle de prévision retenu pour cette série est un SARIMA(0,1,1)(1,1,0) qui s’écrit sous la forme suivante :

$$Z_t = Z_{t-1} + 0,5171Z_{t-4} - 0,5171Z_{t-5} + 0,4829Z_{t-8} + 0,4829Z_{t-9} + 0,8412\epsilon_{t-1} + \epsilon_t$$

Les prévisions pour les trois autres trimestres de l'année 2006 ainsi que les quatre trimestres des années 2007 et 2008 sont données dans le tableau et la figure suivants :

Année	$\hat{Y}_{trimestre1}$	$\hat{Y}_{trimestre2}$	$\hat{Y}_{trimestre3}$	$\hat{Y}_{trimestre4}$
2006		10,58	16,44	10,20
2007	14,58	10,71	14,70	5,20
2008	14,71	8,64	13,54	5,61

TABLE 6.4. Prévisions obtenues par le modèle de Box-Jenkins

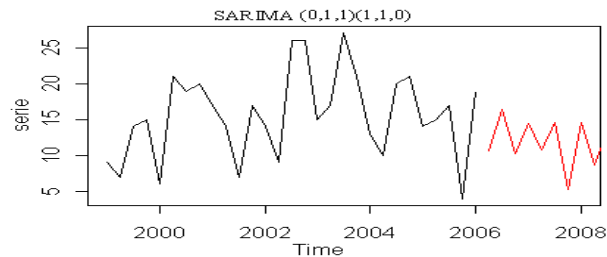


FIGURE 6.3. Série originale et prévisions

Les résultats de la modélisation montrent une légère diminution du nombre de pannes des équipements. Pour mieux connaître le comportement de ces équipements, nous allons effectuer dans ce qui suit l'étude de leur fiabilité.

6. MDELISATION PARAMETRIQUE DE LOIS DE FIABILITE

La modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements a été faite avec le logiciel STATISTICA, qui permet d'ajuster avec les lois paramétriques et d'estimer les paramètres avec l'estimateur du maximum de vraisemblance. Les modèles obtenus ont été validés par les deux tests : K-S et le test du Khi-deux, à l'exception des modèles des trois équipements (pompe alimentaire 58S3001, collecteur de vapeur 2368001 et pompe doseuse 5842001), pour lesquels nous n'avons pu utiliser que le test de K-S, et ce, en raison de la taille des échantillons, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

équipement	n	loi ajustée	paramètres de la loi	K.S		Chi2	
				D_n	D(n,0.05)	E	e
6651001	64	exponentielle	$\lambda = 1/998, 326$	0,206	0,162	5,568	5,99 dl = 2
		Weibull	$\beta = 0, 704, \eta = 789, 933$	0,082		0,821	14,07 dl = 7
6651002	51	exponentielle	$\lambda = 1/1698, 581$	0,271	0,182	5,26	5,99 dl = 2
		Weibull	$\beta = 0, 621, \eta = 1134, 115$	0,093		0,185	14,07 dl = 7
4500001	80	exponentielle	$\lambda = 1/797, 0, 79$	0,157	0,146	7,33	7,81 dl = 3
		Weibull	$\beta = 0, 785, \eta = 686, 214$	0,082		0,847	9,49 dl = 4
4501001	78	exponentielle	$\lambda = 1/823, 756$	0,135	0,147	3,33	7,81 dl = 3
		Weibull	$\beta = 0, 823, \eta = 728, 248$	0,110		0,78	14,07 dl = 7
4502001	81	exponentielle	$\lambda = 1/522, 317$	0,147	0,144	3,97	5,99 dl = 2
		Weibull	$\beta = 0, 939, \eta = 505, 56$	0,126		0,442	9,49 dl = 4
58S3001	29	exponentielle	$\lambda = 1/1831, 252$	0,147	0,241	-	-
		Weibull	$\beta = 0, 616, \eta = 893$	0,225		-	-
5842001	39	exponentielle	$\lambda = 1/1422, 29$	0,138	0,208	2,41	3,84 dl = 1
		Weibull	$\beta = 0, 767, \eta = 1207, 845$	0,099		1,258	11,07 dl = 5
2368001	18	exponentielle	$\lambda = 1/2443, 722$	0,304	0,306	-	-
		Weibull	$\beta = 0, 675, \eta = 1715, 638$	0,158		-	-
5842002	16	exponentielle	$\lambda = 1/2725, 58$	0,141	0,325	-	-
		Weibull	$\beta = 1, 045, \eta = 2778, 419$	0,156		-	-

TABLE 6.5. Résultats de l'ajustement des temps de bon fonctionnement

- D_n : Statistique empirique du test de Kolmogorov-Smirnov.
- $D_{(n,0.05)}$: Statistique tabulée du test de Kolmogorov-Smirnov avec le seuil de signification 0.05.
- E : Valeur théorique de la statistique de Pearson.
- e : Valeur tabulée de la statistique de Pearson.

7. MODELISATION NON PARAMETRIQUE

7.1 Test graphique

Pour ce test, nous avons utilisé le logiciel EXCEL, qui permet de représenter le nuage de points $(\frac{i}{r}, \frac{S(t_i)}{S(t_r)})$ en traçant la courbe de tendance tout en donnant le coefficient de détermination associé R^2 , et ce, selon plusieurs modèles (exponentiel, puissance, linéaire, . . .). Le meilleur modèle sera celui ayant le coefficient de détermination R^2 le plus élevé, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Pour confirmer les résultats de la modélisation paramétrique ainsi que ceux du test graphique pour les équipements dont les paramètres de forme β sont respectivement ($\beta_1 = 0, 785, \beta_2 =$

Equipement	Figure	Allure	Modèle
6651001	Fig(4.19)	Convexe	DFR
6651002	Fig(4.18)	Convexe	DFR
4500001	Fig(4.16)	Convexe	DFR
4501001	Fig(4.14)	Droite	Exponentiel
4502001	Fig(4.15)	Droite	Exponentiel
58S3001	Fig(4.17)	Convexe	DFR
5842001	Fig(4.21)	Convexe	DFR
2368001	Fig(4.9)	Convexe	DFR
5842002	Fig(4.20)	Droite	Exponentiel

TABLE 6.6. Résultats du test graphique

0,823, $\beta_3 = 0,939$, $\beta_4 = 1,045$), on a jugé utile d'appliquer un autre test non paramétrique.

7.2 Test A_2 de Klefsjö

Pour ce test, nous avons réalisé une application avec le logiciel EXCEL et les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Equipement	n	Statistique du test $A_2\sqrt{7560/n^7}$	intervalle d'acceptation de $H_0(0,05)$	Modèle
4500001	79	-3,340	] - 1,736; 1,736[	DFR
4501001	78	-1,202	] - 1,736; 1,736[	Exp
4502001	81	-1,129	] - 1,96; 1,96[	Exp
5842002	16	-0,869	] - 2,133; 2,133[	Exp

TABLE 6.7. Résultats du test A_2 de Klefsjö

7.3 Interprétation des résultats

A partir des résultats précédents, on peut distinguer deux catégories d'équipements :

- Une majorité d'équipements qui présentent un paramètre de forme β inférieur à 1. Ils sont donc caractérisés par un taux de défaillance décroissant. Ceci signifie qu'ils présentent une proportion élevée de défaillances précoces, ce qui pourrait s'expliquer par :
 - Les défauts de conception et de fabrication.
 - La mauvaise utilisation et réparation des équipements.
 - La redondance.
 - Les arrêts de production pendant de longues périodes.
- La deuxième catégorie concerne les équipements (chaudière 4501001, chaudière 4502001, pompe 5842002) qui présentent un paramètre de forme β proche de 1. Ils sont donc caractérisés par un taux de défaillance constant, ce qui montre qu'ils ont entamé leur période de vie utile où les défaillances sont beaucoup plus aléatoires.

Pour comparer la fiabilité de ces équipements, nous avons utilisé les temps moyens de bon

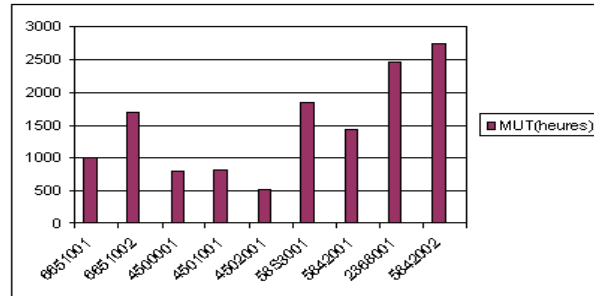


FIGURE 6.4. Temps moyen de bon fonctionnement

fonctionnement (MUT). Ainsi, on dira qu’un équipement est en moyenne plus fiable qu’un autre si son MUT est supérieur.

A partir du diagramme de la figure (6.4), on conclut que :

- Les chaudières sont les moins fiables, cela est dû au fait que celles-ci soient constituées de plusieurs composants (sous-équipements) dont les pannes influent indépendamment sur le MUT de la chaudière.
- Les trois pompes ainsi que le collecteur de vapeur sont en moyenne les plus fiables que le reste des équipements étudiés.

Équipement	n	Loi ajustée	Paramètres	MUT
6651001	64	Weibull	$\beta = 0,704, \eta = 789,933$	998,326
6651002	51	Weibull	$\beta = 0,621, \eta = 1134,115$	1698,581
4500001	80	Weibull	$\beta = 0,785, \eta = 686,214$	797,079
4501001	78	Exponentielle	$\lambda = 1/823,756$	823,756
4502001	81	Exponentielle	$\lambda = 1/522,317$	522,317
58S3001	29	Weibull	$\beta = 0,616, \eta = 893$	1831,252
5842001	39	Weibull	$\beta = 0,767, \eta = 1207,845$	1422,29
2368001	18	Weibull	$\beta = 0,675, \eta = 1715,638$	2443,722
5842002	16	Exponentielle	$\lambda = 1/2725,58$	2725,58

TABLE 6.8. Résultats du calcul des MUT

Discussion

Compte tenu de ces résultats et en examinant les résultats obtenus dans [1], on remarque que d’autres équipements critiques sont apparus (la pompe alimentaire 58S3001 et le collecteur de vapeur 2368001), alors que certains autres ont disparu (les pompes doseuses 584F2001 et 58F4001) de l’analyse ABC. Ceci est dû au fait qu’ils soient remplacés par d’autres éléments (comme le cas de la pompe 58F3001) ou qu’ils soient bien maintenus.

Pour les équipements apparus dans les deux études, une légère différence a été constatée au niveau de leurs temps moyens de bon fonctionnement (MUT).

8. MODELISATION DE LA MAINTENABILITE

Pour la modélisation de la maintenabilité, nous avons utilisé les durées d'intervention qui représentent les temps de réparation des pannes (TTR). Pour la validation des modèles ajustant ces lois de maintenabilité avec le logiciel STATISTICA, nous avons utilisé les deux tests ; le test de Kolmogorov-Smirnov et celui du Khi-Deux, sauf pour les modèles des trois équipements (la pompe alimentaire 58S3001, le collecteur de vapeur 2368001 et la pompe doseuse 5842002). Ceux-ci ont été validés uniquement par le test de Kolmogorov-Smirnov, la taille des échantillons étant petite. Le tableau suivant résume les résultats de la modélisation.

équipement	n	loi ajustée	paramètres de la loi	K.S		Chi2	
				d_n	d(n,0.05)	E	e
6651001	65	exponentielle	$\lambda = 1/4, 186$	0,2	0,161	4,316	5,99 dl = 2
		Log-normal	$\mu = 0,808, \sigma = 1,08$	0,111		6,08	3,84 dl = 1
6651002	52	exponentielle	$\lambda = 1/3, 422$	0,146	0,18	5,588	5,99 dl = 2
		Log-normal	$\mu = 0,639, \sigma = 1,206$	0,153		5,46	3,84 dl = 1
4500001	81	Gamma	$\alpha = 0,653, \beta = 3,414$	0,135	0,144	13,13	9,49 dl = 4
4501001	79	exponentielle	$\lambda = 1/2, 822$	0,249	0,183 (0,01)	13,07	15,09 dl = 5 (0,01)
		Log-normal	$\mu = 0,777, \sigma = 0,706$	1,161	0,146	5,44	7,81 dl = 3
4502001	82	exponentielle	$\lambda = 1/3, 826$	0,144	0,143	3,21	3,84 dl = 1
		Log-normal	$\mu = 0,849, \sigma = 0,914$	0,116		7,154	9,49 dl = 4
58S3001	30	exponentielle	$\lambda = 1/2, 598$	0,294	0,237	2,03	3,84 dl = 1
		Log-normal	$\mu = 0,144, \sigma = 1,209$	0,148		-	-
5842001	40	exponentielle	$\lambda = 1/1, 692$	0,171	0,2	2,914	7,81 dl = 3
		Log-normal	$\mu = 0,101, \sigma = 0,944$	0,182		1,214	5,99 dl = 2
2368001	19	exponentielle	$\lambda = 1/2, 842$	0,243	0,298	0,731	3,84 dl = 1
		Log-normal	$\mu = 0,734, \sigma = 0,799$	0,189		-	-
5842002	17	exponentielle	$\lambda = 1/1, 397$	0,242	0,318	0,255	3,84 dl = 1
		Log-normal	$\mu = 0,083, \sigma = 0,746$	0,161		-	-

TABLE 6.9. Résultats de l'ajustement des temps de réparation

8.1 Interprétation des résultats

D'après les résultats de la modélisation de maintenabilité, on remarque que :

- Pour l'équipement (chaudière EMK 4500001) sa loi de maintenabilité s'ajuste par la loi gamma à deux paramètres.
- Pour le reste des équipements, les lois de maintenabilité s'ajustent par deux lois ; la loi exponentielle et la loi log-normale avec une moyenne des temps de réparation très petite pour cette dernière, en raison de la nature des pannes et des réparations des équipements.

9. ETUDE DE LA DISPONIBILITE

Dans cette partie, nous allons étudier la disponibilité de la chaufferie (réseau de production de la vapeur et celui de l'air comprimé). Pour cela, nous posons la fiabilité des équipements autres

que ceux étudiés égale à 1.

L'analyse statistique effectuée précédemment a permis d'ajuster les lois de fiabilité des équipements par les lois Weibull et Exponentielle. On prend pour le calcul de la disponibilité la loi exponentielle, car les résultats analytiques sont applicables dans ce cas.

Les lois de maintenabilité, quant à elles, sont ajustées par les lois Log-normale et Exponentielle, à l'exception de la loi de l'équipement (chaudière EMK 4500001) qui n'est ajustée que par la loi gamma. Pour cela, nous allons approximer la loi de cet équipement par une loi exponentielle à l'aide du MTE potentiels [2].

Le tableau suivant résume les résultats de l'ajustement des lois de fiabilité et de maintenabilité des équipements.

Equipements	Fiabilité			Mintenabilité		
	n	Loi ajustée	Paramètres	n	Loi ajustée	Paramètres
6651001	64	exponentielle	$\lambda = 1/998,326$	65	exponentielle	$\lambda = 1/4,186$
6651002	51	exponentielle	$\lambda = 1/1698,581$	52	exponentielle	$\lambda = 1/3,422$
4500001	80	exponentielle	$\lambda = 1/797,079$	81	gamma	$\alpha = 0,653, \beta = 3,414$
4501001	78	exponentielle	$\lambda = 1/823,756$	79	exponentielle	$\lambda = 1/2,822$
4502001	81	exponentielle	$\lambda = 1/522,317$	82	exponentielle	$\lambda = 1/3,826$
58S3001	29	exponentielle	$\lambda = 1/1831,252$	30	exponentielle	$\lambda = 1/2,598$
5842001	39	exponentielle	$\lambda = 1/1422,29$	40	exponentielle	$\lambda = 1/1,692$
2368001	18	exponentielle	$\lambda = 1/2443,722$	19	exponentielle	$\lambda = 1/2,842$
5842002	16	exponentielle	$\lambda = 1/2725,58$	17	exponentielle	$\lambda = 1/1,397$

TABLE 6.10. Résultats de l'ajustement des lois de fiabilité et de maintenabilité

9.1 Description des réseaux étudiés

La chaufferie se compose de trois réseaux :

- Réseau de fabrication de la vapeur.
- Réseau de fabrication de l'eau osmosée.
- Réseau de fabrication de l'air comprimé.

Les équipements ressortis dans l'analyse ABC appartiennent au réseau de fabrication de la vapeur et au réseau de fabrication de l'air comprimé. Donc, pour l'étude de la disponibilité, nous allons considérer uniquement ces deux réseaux.

Réseau de fabrication de l'air comprimé : Il est composé de deux pompes doseuses, une pompe alimentaire, trois chaudières et un collecteur de vapeur qui sont disposés comme suit :

- Les trois chaudières sont montées en redondance passive, c'est à dire tant que deux chaudières de base fonctionnent la chaudière de réserve est à l'arrêt. Cette chaudière n'est mise en marche que lorsque une chaudière de base tombe en panne.

Un autre branchement en redondance passive peut être réalisé, c'est à dire tant qu'une chaudière de base fonctionne les deux chaudières de réserve sont à l'arrêt. Ces dernières ne sont mises en marche que lorsque la chaudière de base tombe en panne.

- Les deux pompes doseuses sont montées en redondance passive.

L'ensemble des équipements est monté en série.

Réseau de fabrication de l'air comprimé : Il est composé de deux compresseurs disposés en redondance passive, c'est à dire tant que le compresseur de base fonctionne le compresseur de réserve est à l'arrêt. Ce compresseur n'est mis en marche que lorsque le compresseur de base tombe en panne. Un autre branchement peut être réalisé, c'est à dire les deux compresseurs fonctionnent en même temps. Le système tombe en panne si les deux compresseurs tombent en panne.

9.2 Modélisation et Résolution

9.2.1 Réseau de fabrication de l'air comprimé

- Fonctionnement en régime normal

Le réseau associé est :

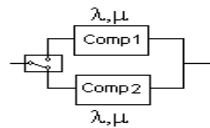


FIGURE 6.5. Fonctionnement des compresseurs en régime normal

• Modélisation

Les durées des pannes ainsi que les temps de réparation suivent des lois exponentielles de paramètres λ et μ respectivement. Soit X_t le nombre de compresseurs en panne à la date t . X_t est un processus à espace d'états discret.

Les états du système sont définis comme suit :

0 : les deux compresseurs sont en bon état, le système fonctionne.

1 : l'un des deux compresseurs est en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.

2 : les deux compresseurs sont en panne, le système ne fonctionne pas.

Graphe de transitions

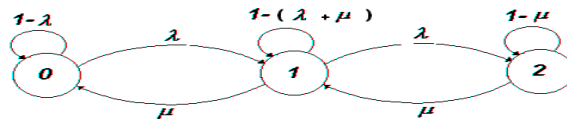


FIGURE 6.6. Graphe de transitions

Le graphe est irréductible. Le régime stationnaire existe, donc il existe un vecteur $\pi(\pi_0, \pi_1, \pi_2)$.

• Résolution

Pour le calcul du vecteur π , on a les équations d'états suivantes :

$$\lambda\pi_0 = \mu\pi_1$$

$$(\lambda + \mu)\pi_1 = \lambda\pi_0 + \mu\pi_2$$

$$\lambda\pi_1 = \mu\pi_2$$

Avec la condition de normalisation :

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1$$

La résolution du système nous donne :

$$\pi_0 = \frac{\mu^2}{[\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2]}$$

$$\pi_1 = \frac{\lambda\mu}{[\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2]}$$

$$\pi_2 = \frac{\lambda^2}{[\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2]}$$

• **Disponibilité**

En régime normal, le système fonctionne si au moins un compresseur est en bon état. Donc la disponibilité se calcule de la manière suivante :

$$D_c = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu^2 + \lambda\mu}{[\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2]}$$

- **Fonctionnement en régime maximal**

Le réseau associé :

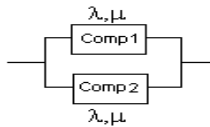


FIGURE 6.7. Fonctionnement des compresseurs en régime maximal

• **Modélisation**

Les états du système sont définis comme suit :

0 : les deux compresseurs sont en bon état, le système fonctionne.

1 : l'un des deux compresseurs est en bon état, l'autre est en panne. Le système ne fonctionne pas.

2 : les deux compresseurs sont en panne, le système ne fonctionne pas.

Graphe de transitions

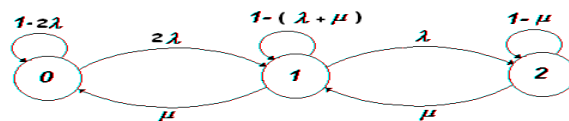


FIGURE 6.8. Graphe de transitions

• **Résolution**

Les équations d'états sont :

$$2\lambda\pi_0 = \mu\pi_1$$

$$(\lambda + \mu)\pi_1 = 2\lambda\pi_0 + \mu\pi_2$$

$$\lambda\pi_1 = \mu\pi_2; \text{ avec } \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1$$

La résolution du système donne les résultats suivants :

$$\pi_0 = \frac{\mu^2}{[\mu^2 + 2\mu\lambda + 2\lambda^2]}$$

$$\pi_1 = \frac{2\lambda\mu}{[\mu^2 + 2\mu\lambda + 2\lambda^2]}$$

$$\pi_2 = \frac{2\lambda^2}{[\mu^2 + 2\mu\lambda + 2\lambda^2]}$$

• **Disponibilité**

En régime maximal, le système fonctionne si les deux compresseurs sont en bon état, d'où la disponibilité est :

$$D_c = \pi_0 = \frac{\mu^2}{[\mu^2 + 2\mu\lambda + \lambda^2]}$$

9.2.2 Réseau de fabrication de la vapeur

- *Fonctionnement en régime normal*

Le réseau associé :

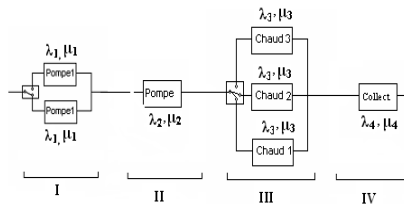


FIGURE 6.9. Fonctionnement en régime normal

Pour le calcul de la disponibilité du réseau, on calcule :

- la disponibilité des deux pompes doseuses montées en redondance passive :

• **Modélisation**

Les états sont :

- 0 : les deux pompes sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : l'une des deux pompes est en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.
- 2 : les deux pompes sont en panne, le système ne fonctionne pas.

Graphe de transitions

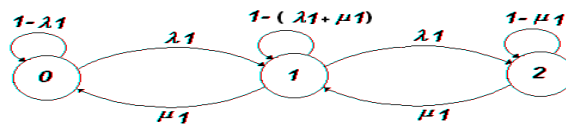


FIGURE 6.10. Graphe de transitions

• **Résolution**

Pour le calcul du vecteur π , on a les équations d'états :

$$\lambda_1 \pi_0 = \mu_1 \pi_1$$

$$(\lambda_1 + \mu_1) \pi_1 = \lambda_1 \pi_0 + \mu_1 \pi_2$$

$$\lambda_1 \pi_1 = \mu_1 \pi_2 ; \text{ avec } \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1$$

La résolution du système donne les résultats suivants :

$$\pi_0 = \frac{\mu_1^2}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}$$

$$\pi_1 = \frac{\lambda_1 \mu_1}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}$$

$$\pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}$$

• **Disponibilité**

Le système fonctionne si au moins une pompe est en bon état. Donc la disponibilité est donnée par :

$$D_I = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}$$

- la disponibilité de la pompe alimentaire :

• **Modélisation**

Les états sont :

0 : la pompe est en bon état.

1 : la pompe est en panne.

Graphe de transitions

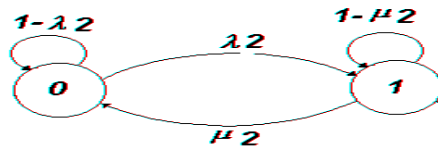


FIGURE 6.11. Graphe de transitions

• **Résolution**

Les équations d'états sont :

$$\lambda_2 \pi_0 = \mu_2 \pi_1 ; \text{ avec } \pi_0 + \pi_1 = 1$$

On aura :

$$\pi_0 = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}$$

• **Disponibilité**

$$D_{II} = \pi_0 = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}$$

- la disponibilité des trois chaudières montées en redondance passive :

Nous avons deux chaudières de base qui fonctionnent, l'autre est à l'arrêt. Cette dernière n'est mise en marche que lorsque l'une des deux chaudières de base tombe en panne.

• **Modélisation**

Les états du système sont définis comme suit :

- 0 : les trois chaudières sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : deux chaudières sont en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.
- 2 : une chaudière est en bon état, les deux autres sont en panne, le système ne fonctionne pas.
- 3 : les trois chaudières sont en panne. Le système ne fonctionne pas.

Graphe de transitions

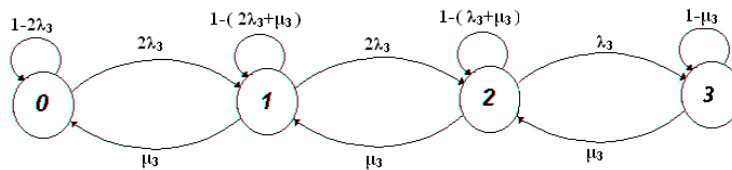


FIGURE 6.12. Graphe de transition

• **Résolution**

Pour le calcul du vecteur π , on a les équations d'états :

$$\begin{aligned} (2\lambda_3 + \mu_3)\pi_1 &= 2\lambda_3\pi_0 + \mu_3\pi_2 \\ (\lambda_3 + \mu_3)\pi_2 &= 2\lambda_3\pi_1 + \mu_3\pi_3 \\ \lambda_3\pi_2 &= \mu_3\pi_3; \text{ avec } \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1 \end{aligned}$$

La résolution du système donne :

$$\begin{aligned} \pi_0 &= \frac{\mu_3^3}{[\mu_3^3 + 2\mu_3^2\lambda_3 + 4\lambda_3^2\mu_3 + 4\lambda_3^3]} \\ \pi_1 &= \frac{2\lambda_3\mu_3^2}{[\mu_3^3 + 2\mu_3^2\lambda_3 + 4\lambda_3^2\mu_3 + 4\lambda_3^3]} \\ \pi_2 &= \frac{4\lambda_3^2\mu_3}{[\mu_3^3 + 2\mu_3^2\lambda_3 + 4\lambda_3^2\mu_3 + 4\lambda_3^3]} \\ \pi_3 &= \frac{4\lambda_3^3}{[\mu_3^3 + 2\mu_3^2\lambda_3 + 4\lambda_3^2\mu_3 + 4\lambda_3^3]} \end{aligned}$$

• **Disponibilité**

Le système fonctionne si au moins deux chaudières sont en bon état. Donc la disponibilité se calcule par :

$$D_{III} = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu_3^3 + 2\lambda_3\mu_3^2}{[\mu_3^3 + 2\mu_3^2\lambda_3 + 4\lambda_3^2\mu_3 + 4\lambda_3^3]}$$

-la disponibilité du collecteur de vapeur :

• **Modélisation**

Les états sont :

- 0 : le collecteur est en bon état.

1 : le collecteur est en panne.

Graphe de transitions

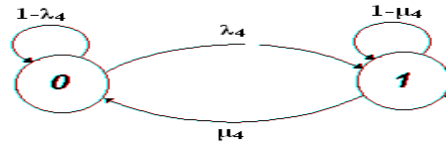


FIGURE 6.13. Graphe de transitions

• Résolution

Les équations d'états sont :

$$\lambda_4\pi_0 = \mu_4\pi_1; \text{ avec } \pi_0 + \pi_1 = 1$$

On aura :

$$\pi_0 = \frac{\mu_4}{\lambda_4 + \mu_4}$$

• Disponibilité

$$D_{VI} = \pi_0 = \frac{\mu_4}{\lambda_4 + \mu_4}$$

La disponibilité du réseau

$$D_r = \frac{1}{\left[\frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_3^3 + 2\lambda_3 \mu_3^2}{[\mu_3^3 + 2\mu_3^2 \lambda_3 + 4\lambda_3^2 \mu_3 + 4\lambda_3^3]}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_4}{\lambda_4 + \mu_4}\right]^{-1} - 3}$$

- Fonctionnement en régime minimal

Le réseau associé :

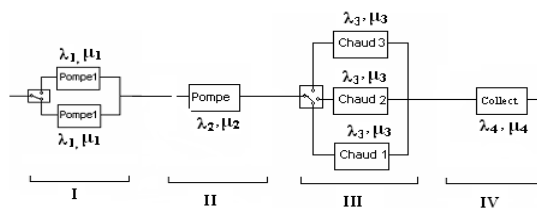


FIGURE 6.14. Fonctionnement en régime minimal

Pour calculer la disponibilité du réseau , nous allons suivre les mêmes étapes que pour le régime normal ; on aura :

- la disponibilité des deux pompes doseuses montées en redondance passive :

$$D_I = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}$$

- la disponibilité de la pompe alimentaire :

$$D_{II} = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}$$

- la disponibilité des trois chaudières montées en redondance passive :

Nous avons trois chaudières en redondance passive. Une chaudière de base fonctionne, les deux autres sont à l'arrêt.

• **Modélisation**

Les états du système sont :

- 0 : les trois chaudières sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : deux chaudières sont en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.
- 2 : une chaudière est en bon état, les deux autres sont en panne, le système fonctionne.
- 3 : les trois chaudières sont en panne. Le système ne fonctionne pas.

Graphe de transitions

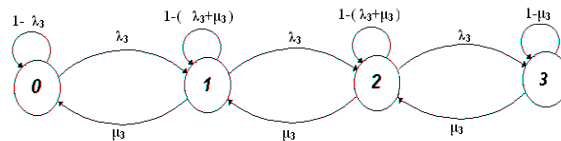


FIGURE 6.15. Graphe de transitions

• **Résolution**

Pour le calcul du vecteur π , on a les équations d'états suivantes :

$$\begin{aligned} \lambda_3 \pi_0 &= \mu_3 \pi_1 \\ (\lambda_3 + \mu_3) \pi_1 &= \lambda_3 \pi_0 + \mu_3 \pi_2 \\ (\lambda_3 + \mu_3) \pi_2 &= \lambda_3 \pi_1 + \mu_3 \pi_3 \\ \lambda_3 \pi_2 &= \mu_3 \pi_3 ; \text{ avec } \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1 \end{aligned}$$

La résolution du système nous donne :

$$\begin{aligned} \pi_0 &= \frac{\mu_3^3}{[\mu_3^3 + \mu_3^2 \lambda_3 + \lambda_3^2 \mu_3 + \lambda_3^3]} \\ \pi_1 &= \frac{\lambda_3 \mu_3^2}{[\mu_3^3 + \mu_3^2 \lambda_3 + \lambda_3^2 \mu_3 + \lambda_3^3]} \\ \pi_2 &= \frac{\lambda_3^2 \mu_3}{[\mu_3^3 + \mu_3^2 \lambda_3 + \lambda_3^2 \mu_3 + \lambda_3^3]} \\ \pi_3 &= \frac{\lambda_3^3}{[\mu_3^3 + \mu_3^2 \lambda_3 + \lambda_3^2 \mu_3 + \lambda_3^3]} \end{aligned}$$

• **Disponibilité**

Le système fonctionne si au moins une chaudière est en bon état. Donc la disponibilité est donnée par :

$$D_{III} = \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = \frac{\mu_3^3 + \lambda_3 \mu_3^2 + \lambda_3^2 \mu_3}{\mu_3^3 + \mu_3^2 \lambda_3 + \lambda_3^2 \mu_3 + \lambda_3^3}$$

-la disponibilité du collecteur de vapeur :

$$D_{VI} = \frac{\mu_4}{\lambda_4 + \mu_4}$$

La disponibilité du réseau

$$D_r = \frac{1}{\left[\frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} \right]^{-1} + \left[\frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right]^{-1} + \left[\frac{\mu_3^3 + \lambda_3 \mu_3^2}{\mu_3^3 + \mu_3^2 \lambda_3 + \lambda_3^2 \mu_3 + \lambda_3^3} \right]^{-1} + \left[\frac{\mu_4}{\lambda_4 + \mu_4} \right]^{-1} - 3}$$

9.3 Calcul de la disponibilité

Le tableau suivant résume les taux moyens de réparation et de panne des équipements :

Equipement	Taux de panne λ	Taux de réparation μ	Taux moyen λ	Taux moyen μ
6651001	0,00100167	0,23889154	0,00079519	0,26555915
6651002	0,00058872	0,29222676		
4500001	0,00125458	0,29291154	0,00146102	0,36770951
4501001	0,00121395	0,54884742		
4502001	0,00191454	0,26136957		
5842001	0,00070309	0,59101654		
5842002	0,00036689	0,17581961	0,00053499	0,65341807
58S3001	0,00054607	0,38491147	0,00054607	0,38491147
2368001	0,00040921	0,35186488	0,00040921	0,35186488

TABLE 6.11. Temps moyens de pannes et de réparations des équipements

· Disponibilité du réseau de fabrication de l’air comprimé en régime normal :

$$D_{c(normal)} = \frac{\mu^2 + \lambda\mu}{[\mu^2 + \mu\lambda + \lambda^2]} = 0,99999109$$

· Disponibilité du réseau de fabrication de l’air comprimé en régime maximal :

$$D_{c(maximal)} = \frac{\mu^2}{[\mu^2 + 2\mu\lambda + \lambda^2]} = 0,99402913$$

· Disponibilité du réseau de fabrication de la vapeur en régime normal :

$$D_{r(normal)} = 0,99736198$$

· Disponibilité du réseau de fabrication de la vapeur en régime minimal :

$$D_{r(\text{minimal})} = 0,99742431$$

9.4 Interprétation des résultats

D'après ces résultats, on constate que la disponibilité des réseaux (le réseau de fabrication de l'air comprimé et le réseau de fabrication de la vapeur) est proche de 1. Ceci est dû au fait que :

- les temps de réparation (TTR) sont très petits devant les temps de bon fonctionnement (TBF).
- les équipements sont disposés en redondance passive, ce qui augmente la disponibilité du réseau.
- les équipements sont conçus pour fonctionner 24/24h.

Cependant, la disponibilité du réseau de fabrication de la vapeur en régime minimal est légèrement supérieure à celle en régime normal. Ceci s'explique par le fait que le réseau possède une source supplémentaire en régime minimal (deux chaudières en stand-by). Par contre, il n'en possède qu'une seule en régime normal. Idem pour le réseau de fabrication de l'air comprimé. En effet, la disponibilité de ce dernier en régime normal est plus grande que celle en régime maximal, car il possède un compresseur en stand-by pour le fonctionnement en régime normal ce qui n'est pas le cas en régime maximal.

Discussion

Ces résultats ainsi que ceux obtenus dans [1], ont montré que la disponibilité des deux réseaux de la chaufferie est proche de 1 pour les différents régimes de fonctionnement. Cependant, on remarque une légère diminution de cette dernière (disponibilité des deux réseaux) dans notre cas.

10. CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail était d'apprécier l'état actuel de la chaufferie de l'entreprise des corps gras de Béjaia (COGB) en évaluant la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de ses équipements, tout en tenant compte des résultats obtenus dans une étude déjà effectuée sur cette dernière. Nous avons recensé les données nécessaires à cette étude (nombre de pannes par année, les temps de bon fonctionnement, durées d'intervention, ...) pour pouvoir ensuite les traiter.

Cette étude nous a permis d'avoir une idée sur l'état actuel de la chaufferie. En effet, les résultats de l'analyse ABC effectuée dans le chapitre quatre ont conduit à un système à étudier autre que celui considéré dans [1] (l'apparition de nouveaux équipements critiques, la disparition d'autres équipements et la réapparition de certains autres). L'analyse de fiabilité effectuée a révélé que certains équipements de la chaufferie ont entamé leur période de vie utile alors que pour l'étude [1], ces derniers étaient dans leur période de jeunesse. Ensuite, cette analyse a été complétée par l'application et la comparaison de quelques tests non paramétriques. De plus, l'étude prévisionnelle effectuée a montré une légère diminution du nombre de pannes de ces équipements. D'autre part, le calcul de la disponibilité a donné des résultats proches de ceux

obtenus dans [1], et ce, malgré que les systèmes considérés dans les deux études soient différents.

Une étude basée sur l'analyse approfondie au niveau des composants constituant les équipements de la chaufferie pourrait être effectuée. Cette étude est intéressante pour l'entreprise car elle permet d'agir directement sur les problèmes rencontrés. Il est également intéressant de réaliser une étude économique dans le but d'implanter une politique de maintenance adéquate. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'informations précises (Diagnostic exact de l'équipement, code des pièces rechangées ainsi que leurs coûts, durée d'attente de la pièce de rechange ...). C'est pourquoi nous recommandons aux responsables du service maintenance d'améliorer la collecte des données (notamment par l'informatisation du service).

Références

1. F. Acheuk et M. Hassaim. *Etude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise COGB Béjaia*. Mémoire de fin d'études, Dept de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2004.
2. Br. Cobb et Pp. Shenoy et R. Rumi. Approximating probability density functions with mixtures of truncated exponentials. *University of Kansas school of business (USA)*, pages 1–29, March 2004.

Deuxième partie

Ordonnancement et gestion des projets

Ordonnancement et Affectation des tâches du cycle de production : Cas de l'entreprise IFRI

Kartout K., Kadri S., Aoudia Z. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com, zo.aoudia@gmail.com

Résumé L'ordonnancement du processus de changement de format à ressources limitées avec contraintes de délais est l'une des fonctions clés dans la gestion de la production dans toute entreprise.

L'étude que nous avons menée au niveau de l'entreprise IFRI consiste à planifier dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches régies par des contraintes temporelles et de ressources, qui sont limitées par une capacité fixe au cours d'un délai fixe. Une fois le problème caractérisé, nous avons pu élaborer un ordonnancement optimal à l'équilibrage de charge au niveau de la ligne de production CSD. Une application de l'algorithme d'équilibrage de charge a été réalisée qui nous a permis de répartir les charges de travail de façon égale sans augmenter le délai de réalisation du processus de changement de format.

Mots clés : Ordonnancement des tâches avec ressources limitées, équilibrage de charge, changement de format.

7.1 Introduction

Dans les dernières décennies, le succès incontestable d'applications des nouvelles technologies dans l'industrie a créé l'hypothèse qu'un processus technique innovant apportera toujours et simultanément une augmentation de la productivité de l'usine. Cette hypothèse se transforme très souvent dans un gaspillage des ressources et dans une source de non productivité de l'usine, tout simplement par le fait que le développement du processus opérationnel (capital humain) n'est pas considéré comme une priorité et ignoré par la plupart des entreprises [2]. Il est maintenant reconnu qu'en plus de la dimension purement technologique, les facteurs sociaux et humains influencent profondément la productivité de l'entreprise [10].

La modélisation du comportement humain et de son influence sur la performance des processus restent cependant actuellement peu étudiés [6] intégrés la plupart du temps dans les travaux liés à la problématique d'affectation des ressources humaines [8]. Les principales contraintes liées à l'utilisation de ces ressources relèvent de la disponibilité des employés, de leur adéquation aux tâches devant être exécutées, de leur quantité, enfin de la performance qu'ils engendrent au niveau d'une activité et plus globalement du processus [13]. Toutefois, la majorité des études qui s'intéressent à l'ordonnancement se place dans un environnement déterministe et suppose la disponibilité totale des ressources. Cependant, dans la réalité, généralement ce n'est pas le cas. En effet, les ressources matérielles et humaines peuvent être indisponibles pour différentes raisons [9, 5]

Le problème étudié dans cet article apparaît à l'étape de la conception des lignes de production de différents types quand un nouveau produit (ou une nouvelle famille de produits) avec ses gammes de production sont déjà connus, la prise en compte des contraintes liées aux ressources humaines, en terme d'affectation des opérateurs aux tâches, dans les problèmes d'ordonnancement. Ce problème intégrant l'affectation des opérateurs aux tâches consiste à modéliser les

conflits pour l'utilisation des ressources, à déterminer l'état du cycle de production au cours du temps, et à considérer le problème d'ordonnancement du processus de productions dans sa globalité [7] en prenant en compte l'influence de l'affectation des ressources humaines sur les activités de production.

7.2 Etat de l'art

A l'heure actuelle, la demande du marché est devenue pratiquement imprévisible. Les entreprises ne peuvent plus créer des stocks de produits, pour répondre aux demandes de leurs clients pendant la production d'un autre format de produits, tout simplement parce que ces stocks risquent de ne pas être vendus. Les usines doivent donc développer leur capacité de réagir et de s'adapter à la demande du marché dans un temps réduit. Autrement dit, de réaliser des changements de format sur les lignes de production le plus vite et le plus souvent possible [12].

La problématique de changement de formats est l'expression la plus visible puisqu'elle pénalise directement le rendement des lignes. Un changement de format engendre les arrêts de ligne les plus longs. En effet, durant le temps du changement, la ligne ne produit rien et ainsi l'usine ne gagne rien. Or cela peut durer plus de trois heures s'il y a besoin d'un nettoyage et jusqu'à deux heures pour des changements qui nécessitent une modification de la configuration de la ligne. Il faut dans ce cas réinstaller une autre machine et la régler. Ensuite, il faut au moins une heure de rodage. Toutefois, il arrive que des ajustements de réglages soient fait par les opérateurs lors de la mise en route de la ligne. Autant dire que ces temps morts peuvent représenter un souci majeur pour l'usine.

Le temps de réglage permettant de passer d'un format à un autre correspond à l'exécution de multiples opérations (tâches) nécessitant des compétences diverses [4]. Il est donc possible d'optimiser le temps perdu et la surcharge des ressources de façon à régler la ligne de production en affectant les opérations (tâches) aux bons opérateurs aux bons moments, avec pour objectif de minimiser la perte de production engendrée par ce changement et de parvenir à la consommation de ressources la plus efficace (équilibre de charge) sans l'augmentation de la durée totale de la procédure.

La problématique associée à l'affectation et à l'équilibrage des ressources humaines dépend de l'horizon temporel à l'intérieur duquel la décision doit être prise [14]. L'analyse des déséquilibres de la charge de travail entre les ressources humaines permet de mettre en lumière les dysfonctionnements qui perturberaient l'évolution de l'organisation. Ce qui exige, par conséquent, de gérer ces activités et d'allouer des tâches à la meilleure ressource [11]. En effet, un agent doit réaliser son intervention avec une précaution particulière et dans un délai plus court afin d'éviter des conflits sur les ressources (il sera impossible d'utiliser la ressource en même temps par deux tâches distinctes) et d'assurer le bon fonctionnement des machines et en perturbant le moins possible la fonction production [3].

7.3 Gestion du personnel

La force de travail est représentée par l'ensemble des opérateurs, appelés aussi agents, susceptibles de couvrir la charge de travail. Elle est constituée de différentes classes de personnel, les caractéristiques de base du personnel sont l'effectif et la disponibilité et les qualifications.

- **L'effectif** : Dans une approche plus opérationnelle, l'effectif de chaque classe de personnel est contraint en nombre et en disponibilité. Vu la limitation en nombre des agents, il est possible que la charge de travail ne puisse pas être couverte entièrement. D'où l'objectif de répartition de la charge du travail est essentiel, de manière à respecter les contraintes liées à la réglementation du travail et aux disponibilités des agents, tout en prenant en compte leurs compétences.
- **La disponibilité** : Pour qu'un agent puisse effectuer une tâche, il doit être disponible pour cette tâche. Il faut voir la disponibilité sous deux angles : d'un côté, la prise en compte des éventuelles activités pré-affectées et d'un autre côté la prise en compte des indisponibilités (congé, arrêt maladie, . . .) de chaque agent.
- **Les qualifications** : Un agent peut avoir une seule qualification ou peut être multiqualifié. Il est possible que les qualifications soient hiérarchisées, il faut respecter certaines limites pour ce genre d'affectation.

7.4 Description et Modélisation

7.4.1 Qu'est ce qu'un changement de format ?

Le changement de format est une succession de multiples tâches des intervenants (production, technique, ...) sur les différentes machines pour adapter le nouveau format, qui nécessite de changer l'outillage des machines de la ligne de production et de faire des réglages tels que : réglage suivant le format (hauteur / largeur) de la bouteille, remplacement de moule spécifique au format voulu, synchronisation des différentes machines (changement de recettes, de cadence, ...).

- Les opérations de montage : il s'agit de monter sur la machine l'outillage adapté au nouveau format ;
- Les opérations de réglage : il s'agit de régler la machine avec l'outillage pour obtenir le format désiré.

Le changement de format sur une ligne CSD composée de plusieurs machines réalisant diverses opérations, est effectué par plusieurs opérateurs (quatre opérateurs, un opérateur polyvalent, un opérateur qualité, un technicien supérieur et un chef d'équipe). Par conséquent, notre étude vise à modéliser le problème permettant de minimiser ces pertes de temps liées à ce changement, donc à ordonnancer les tâches de manière à minimiser le temps de réglage total (minimiser la perte de production) tout en respectant les propriétés d'antériorité de ces dernières et de minimiser tout retard dû à ce changement.

Notre démarche consiste donc en la réalisation de l'ensemble des tâches du processus de changement avec seulement les ressources disponibles durant un temps limité. Suivant le mode opératoire de l'entreprise (l'affectation ainsi que l'enchaînement des tâches de ce processus) le délai du processus doit être calculé en utilisant le diagramme Gantt. Une fois la construction du diagramme Gantt terminée, la durée de projet est obtenue. En fonction de ce diagramme et des ressources disponibles, nous proposerons une affectation qui permet de répartir la charge de travail de façon relativement homogène entre les ressources dans le temps en modifiant le mieux possible l'ordonnancement courant sans rallonger la durée du projet. L'affectation présentée dans la suite est un parcours pour la résolution du problème d'équilibrage de charge. Le nombre maximum de tâches pouvant être traitées simultanément sera au plus égale au nombre

de ressources. Le temps de traitement d'une tâche dépend du choix de la ressource qui en assumera la charge. Celui-ci variera si l'on choisit d'en changer l'affectation. Cependant, toutes les ressources doivent être occupées de façon à revoir une charge normale.

Les tâches de réglage des machines sont effectuées par des opérateurs multi-compétents. Ces opérateurs vont donc être les ressources du problème d'optimisation de changement de format. Pour être effectuée une tâche requiert un et un seul opérateur disponible avec la compétence nécessaire. Vu que le nombre d'opérateurs est inférieur au nombre de machines et afin d'éviter les surcharges de travail des agents, une tâche ne sera donc pas nécessairement affectée à la meilleure ressource. Les deux principaux problèmes posés par les ressources humaines sont d'une part l'établissement des horaires de travail en fonction de contraintes légales et sociales et la prise en compte des compétences. Dans notre problème, nous considérons que le problème consistant à établir les disponibilités des agents sont des données connues.

7.4.2 Elaboration du modèle

1. Indices

- i : indice d'identification d'une tâche $i = 1 \dots n$.
- j : indice d'identification d'un agent $j = 1 \dots m$.

2. Données et paramètres

Le modèle nécessite les données et paramètres suivants :

- $Disp_j$: Temps de disponibilité de la ressource j dans l'atelier
- C_j : Charge de la ressource j
- M_i : Le sous ensemble des agents pouvant exécuter la tâche i .
- T_i : La durée de la tâche i (en minutes).
- $C_{i,j}$: Matrice de compétence de l'agent j pour l'exécution de tâche i .
- $N_{i,j}$: Niveau de compétence de la ressource j sur la tâche i .
- $T_{i,j}$: Temps de réalisation de la tâche i par un agent j .

3. Les variables de décision

x_{ij} : valeur binaire représentant l'affectation de la tâche i à l'agent j ,

$$x_{ij} \begin{cases} 1 & \text{si la tâche } i \text{ est affectée à l'agent } j ; \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

D_i : Date début de la tâche i .

4. Les contraintes

Comme nous l'avons déjà introduit, plusieurs contraintes doivent être prises en compte [1], notamment le temps de cycle, les contraintes de précédence entre les tâches et les contraintes d'exclusion entre les opérations. Toutes sont définies par les éléments suivants :

- Un agent j peut réaliser n tâches pendant une période considérée :

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq n, \quad j = 1 \dots, m$$

- La charge totale affectée à un agent ne doit pas excéder son temps de présence dans l'atelier :

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} * x_{ij} \leq Disp_j, \quad j = 1, \dots, m$$

- Une tâche n'est exécutée que sur une seule ressource parmi celles possibles :

$$\sum_{i \in M_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

- Une tâche ne peut pas être effectuée par une ressource 'interdite' :

$$\sum_{i \notin M_i} x_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n$$

- La contrainte qualité impose que la ressource 8 appartient à une seule tâche (tâche qualité).

$$x_{i,8} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

- La tâche i ne peut commencer son exécution avant l'achèvement de la tâche i :

$$D_{i'} \geq D_i + \sum_{i \in M_i} T_{ij} * x_{ij}$$

- $x_{ij} \in \{0, 1\}$, $D_i \geq 0$, $j = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$.

5. L'objectif

Le but est de déterminer une affectation des ressources qui permet d'équilibrer leur charge temporelle, durant le processus de changement. Alors, on propose la fonction :

$$\sum_{j' < j}^{m-1} |C_j - C_{j'}| \rightarrow \min$$

L'ordonnancement qui répond à l'utilisation des ressources nous montre des surcharges de certains opérateurs par rapport à d'autres :

1. Le technicien supérieur (R1) en premier lieu avec 145 minutes,
2. L'opérateur 2 (R5) en second lieu avec 135 minutes,
3. L'opérateur 3 (R7) avec 130 minutes.

La figure suivante résume que le problème se pose au niveau des ressources R1, R5 et R7 :

Notre étude vise donc à proposer une nouvelle affectation des tâches aux ressources, sans dépasser la durée limite (255 minutes) à savoir qu'on connaît déjà les ressources responsables de l'exécution des tâches critiques et qu'on agit seulement sur les tâches non critiques (trouvons les ressources correspondants à l'exécution des tâches non critique).

7.5 Procédure et prétraitement

On considère ici le cas le plus général où chaque tâche nécessite des ressources disponibles en capacité limitée, la disponibilité des ressources est la même pour tout les agents. Le tableau suivant résume la capacité et la disponibilité de chaque ressource au cours de ce processus.

Chacune des 53 tâches doivent recevoir un opérateur. 8 opérateurs sont disponibles, chacun d'eux admet un niveau de compétence.

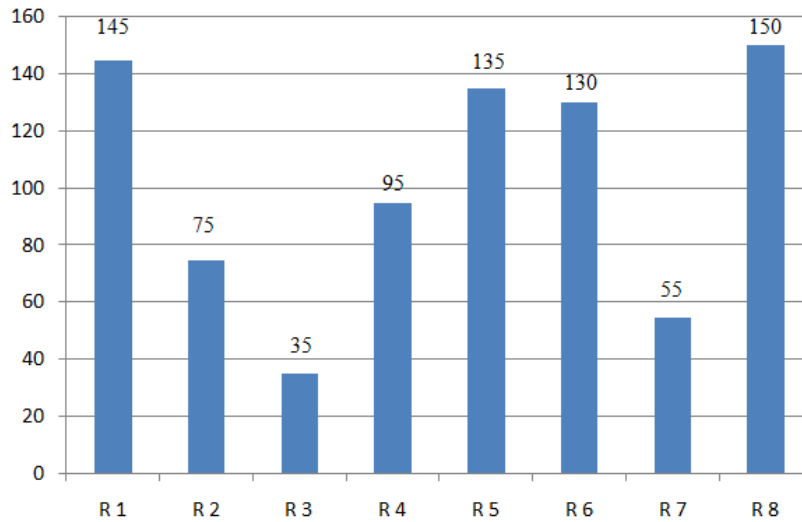


FIGURE 7.1. Le plan de charge de chaque ressource dans la ligne CSD

La matrice de compétence, constitue une donnée d'entrée pour l'élaboration du plan de formation du personnel. En effet, ce niveau de compétence peut diminuer ou augmenter en fonction des activités de l'opérateur. Nous considérons un système de maintenance composé de ressources, ayant des compétences dans des machines complémentaires (souffleuse, remplisseuse, fardeleuse, ...). En effet, chaque agent possède différents niveaux de compétences dans une ou plusieurs machines.

Le niveau (note) de compétence acquise $C_{i,j}$ (avec $1 \leq i \leq 52$ et $1 \leq j \leq 8$) de l'opérateur i , dans une spécialité j , peut avoir les valeurs suivantes :

- $C_{i,j} = 0$: Aucune compétence pour réaliser la tâche considérée.
- $0 < C_{i,j} \leq 5$: Niveau encore insuffisant pour réaliser cette tâche.
- $5 < C_{i,j} \leq 10$: Compétence suffisante pour accomplir un travail dans cette spécialité mais en occupant plus de temps.
- $C_{i,j} = 10$: Forte compétence pour accomplir cette tâche.

Notre but correspond à la mesure de l'efficacité pour répondre à la demande au travail demandée (tâche considérée), c'est à dire le temps de la main d'oeuvre nécessaire pour réaliser la tâche en question. Pour cela, nous avons fait appel à EXCEL a fin de calculer les temps d'utilisation de chaque tâche i par un opérateur j .

Partant du principe : $10 \div C_{i,j} = t_i \div T_i$ et calculons le temps t_i de pour chaque j qu'on note $T_{i,j}$. La procédure suivie est si $C_{i,j} > 0$, $T_{i,j} \times 10 \div C_{i,j}$; 1000, à savoir, 1000 désigne qu'un opérateur j ne peut exécuter la tâche i .

Vu la complexité du problème proposé, nous avons développé un algorithme heuristique qui permet de trouver une affectation des tâches aux ressources de manière à équilibrer la charge, et vu qu'on connaît déjà les ressources affectées aux tâches critiques, on se limite à la recherche d'une affectation de ressources pour les tâches non critiques. La syntaxe générale de l'algorithme est la suivante :

Algorithme Equilibrage de charge

1. Collecte de l'information et Initialisation des données : - Initialiser la charge des opérateurs $C0(j)$. - Initialiser la matrice des temps d'utilisation des tâches par les ressources $T_{i,j}$. - Initialiser les temps de présence des opérateurs pendant le processus de changement $Disp(j)$.
2. Trouver M_i : le sous ensemble des ressources pouvant exécuter la tâche i ;
3. Calculer la nouvelle charge de chaque opérateur de ce sous ensemble par l'équation :

$$C(j) = C0(j) + T_{i,j};$$

4. Trouver le minimum des $C(j)$ calculées ;
5. Renvoyer l'indice j qui satisfait le minimum des charges, qu'on note j_{\min} ;
6. Si la charge de l'opérateur j trouvée est inférieure $Disp$ (sa présence pendant le processus de changement) Alors
7. Affecter la tâche i à l'opérateur j ; Actualiser la charge.
8. Renvoyer la matrice d'affectation finale ; Renvoyer les charges des opérateurs ;

7.6 Résultats et interprétations

Après l'implémentation de l'algorithme d'équilibrage de charge sous MATLAB, la charge de travail des opérateurs est presque équilibrée sans dépasser leurs disponibilités tout en respectant le délai alloué au processus de changement de format.

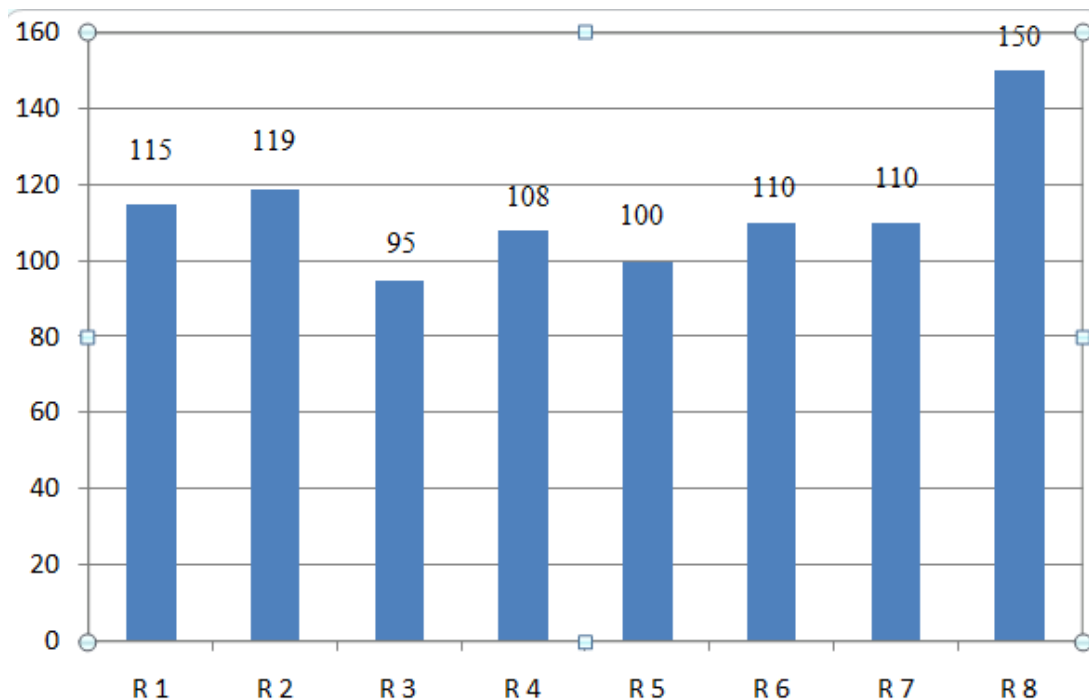


FIGURE 7.2. Le plan de charge de chaque ressource dans la ligne CSD après affectation

L'enchaînement des tâches ainsi l'affectation fournis par le logiciel de l'ordonnancement proposé est illustré dans le diagramme Gantt que montre la figure suivante. La durée totale de l'ordonnancement correspond à 225 minutes, ce qui fait qu'on a respecté le délai du processus de changement de format. Le chemin critique est celui en rouge, c'est le même chemin avant l'affectation des ressources aux tâches non critiques, sauf que les tâches de précédences et d'antériorités ont changées.

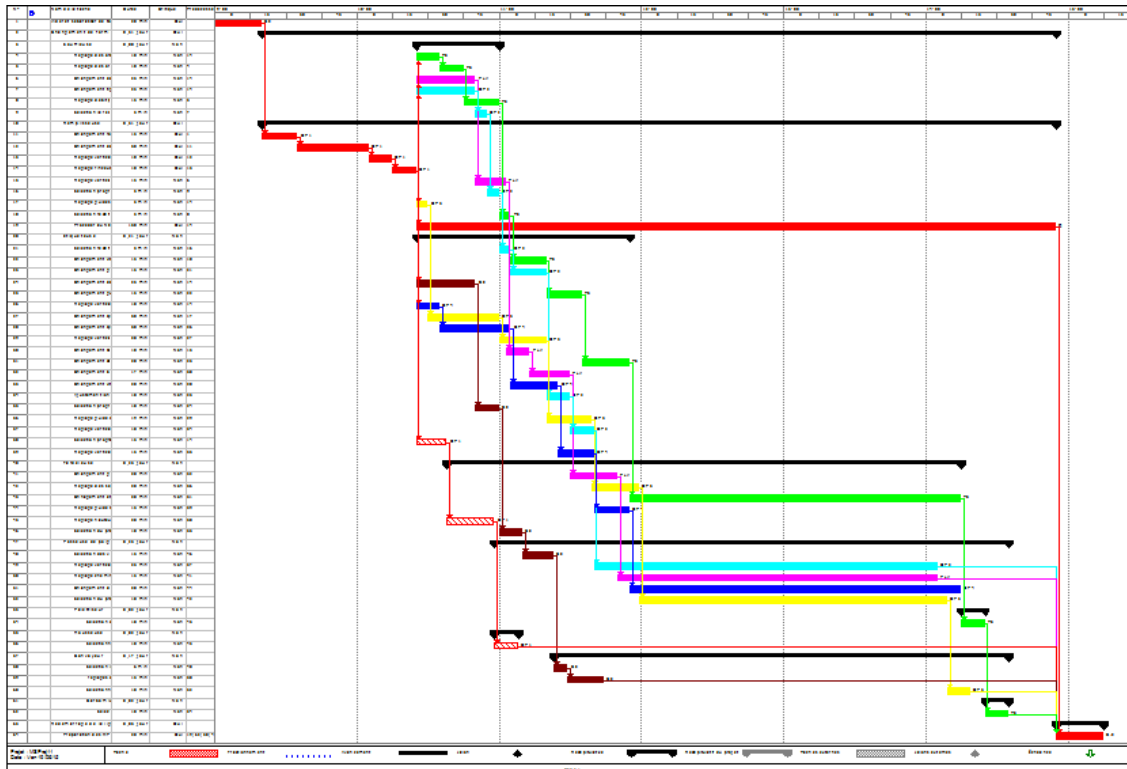


FIGURE 7.3. iagramme de Gantt après affectation

7.7 Conclusion

La gestion du personnel d'une entreprise est devenue un enjeu économique et social incontournable. En effet, une meilleure prise en compte du facteur humain dans la planification des travaux permet d'améliorer la flexibilité de l'entreprise.

Dans cet article, nous avons pu élaborer un ordonnancement optimal du processus changement de format au niveau de la ligne de production CSD, cas de l'entreprise Ifri. Nous avons présenté une solution d'équilibrage de charge, et cela en appliquant un algorithme que nous avons développé sous MATLAB et qui permet l'amélioration de la répartition de la charge de travail d'exécution en s'appuyant dans notre modélisation sur les tâches non critiques, ceci nous a permis également de mieux gérer les ressources. Pour un meilleur suivi de l'évolution

des opérations, nous avons fait recours à la méthode PERT, le diagramme de GANTT et nous avons utilisé le logiciel Microsoft Project.

De ce fait, on a estimé la durée minimale de la procédure de changement de format à 255 minutes. Nous proposons une approche de modélisation du problème en tant que problème d'affectation généralisé. La modélisation du problème porte alors sur des décisions de type ordonnancement mais également sur des décisions de type affectation.

Une perspective intéressante serait de prendre en compte la coopération des agents pour la réalisation des tâches, notamment les tâches critiques qui pourraient diminuer les durées d'ordonnancement. Comme on peut également étudier la sensibilité de l'algorithme proposé par rapport à la variation dans les ressources et les tâches.

Références

1. Y. Chater et A. Talbi B. Dakkak. Modélisation d'un problème d'allocation des agents de maintenance. 2012.
2. M. Bennour. Contribution à la modélisation et à l'affectation des ressources humaines des processus industriels. Thèse de doctorat de l'Université Montpellier2, décembre 2004.
3. M. Cheurfa. Gestion des ressources humaines en production cyclique. Modeling and Simulation. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France, 2005.
4. C. Pessan et E. Néron. Ordonnancement des opérations de réglage machine lors d'un changement de série : prise en compte des compétences des opérateurs. 2007.
5. N. Zerhouni F. Marmier, C. Varnier. Ré-ordonnancement partiel et dynamique d'un planning d'activités de maintenance. 7^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada, Juin 2007.
6. R. M. Hachicha. Contribution à la Modélisation et Résolution du Problème d'Affectation sous Contraintes de Compétences et Préférences. l'Université Paris 8, juillet 2012.
7. J. K-Harrath. Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance dans les systèmes de production. l'Université de Franche-Comté, 2004.
8. D. Crestani et O. Crespo. M. Bennour. Une méthode d'affectation des ressources humaines aux processus industriels. Springer Verlag, 2008.
9. F. Marmier. Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multi-critère. l'Université de Franche, Comté, décembre 2007.
10. A. Hait F. Soumis P. Baptiste, V. Giard. Gestion de production et ressources humaines, méthodes de planification dans les systèmes productifs. Presse Internationales Polytechniques, Québec, Canada, 2006.
11. J-C. Régis P. Schaus, P.V. Hentenryck. Problème d'équilibre des charges de travail dans l'affectation de patients aux infirmières. 2009.
12. C. Pessan. Optimisation de changements de séries par ordonnancement des tâches de réglage. l'Université François Rabelais Tours, 2008.
13. A. El Mhamdi R. M. Hachicha, EL M. Dafaoui. Approche de résolution du problème d'affectation sous contraintes de compétences et préférences. MGSI-IUT de Montreuil, 2011.
14. R. Stock V. B-Campaner. Intégration du temps de formation et des desiderata des opérateurs dans un ordonnancement. 9^e Congrès International de Génie Industriel, Canada, 2011.

Scheduling and planning the project of rehabilitation and upgrading the installations in the oil port of Bejaia, Algeria.

Makhloufi S., Boudjadja C. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com, sylvia_makhloufi@yahoo.com

Abstract :

This article treats problem met in company, it acts to find a scheduling of the spots for the project of rehabilitation of the oil port of Bejaia, by minimizing its total duration. We used the technique of the Gantt chart, method PERT, and method PDM. These methods are based on the graphs for modeling and the resolution, for the latter we calculated more the long way which represents more the long series of spots, of which the total duration represents the minimum duration of the project. We also modelled the problem in the form of linear program with limited variables, which we solved by the method of interior point by using the Matlab software, considering the big size of our data. We could minimized the total duration of the project by solving the problem of scheduling under constraints of temporal anteriorities and localization. However the problems of scheduling in practice imply the taking into account of the limited number of resources. For that we used software ms project for the assignment of resources to the spots, and for the resolution of the overuse of these last.

Keywords : Scheduling tasks, project planning, project management, graph theory, linear programming.

8.1 Introduction

Sonatrach is an Algerian state-owned company and a major international player in the hydro-carbon industry, which is involved in the exploration, production, pipeline transport, processing and marketing of hydrocarbons. The Central transport region of Bejaia is one of the five regions composing the activity of transport of hydrocarbons by pipeline of the company Sonatrach.

In order to improve the operating and safety conditions of the oil port installations renovation work was started in 2006. However, the work was not completed by the previous contractor. Therefore, the main task of the new contract is the rehabilitation and commissioning of the surface facilities of the oil port of Bejaia. The remaining works to be carried out are essentially : the works of removal, demolition and evacuation. And the works of the new works to be realized.

Growing a business requires good planning strategies to increase profits, reduce expenses, and bring more clarity. The planning department of the new works department at Sonatrach is in charge of the study and follow-up of the company's projects, including the rehabilitation of the oil port of Bejaia.

Scheduling techniques within the framework of project management aim to meet needs expressed by a customer, at the best cost and in the best time, taking into account the various constraints. Scheduling takes place in three stages :

- Planning : which aims at determining the various operations to be carried out, the corresponding dates, Scheduling techniques within the framework of project management aim to meet the needs expressed by a client in the best possible way. The needs expressed by a customer, at the best cost and in the best time, the taking into account the different constraints.

- Execution : which consists in the implementation of the various operations defined in the planning phase.

- The control : which consists in making a comparison between planning and execution, either at the level of costs, or at the level of realization dates.

In order to optimize the time of realization of the project of rehabilitation, it is essential to use the techniques of scheduling and project planning. The objective of this work is thus, to find a scheduling of tasks of minimal duration, in order to reduce the time of realization of the project of the rehabilitation of the oil port.

The specificity of the work consists in presenting two different concepts of modeling and resolution for the project scheduling problem in order to bring a solution to the problem of optimization of the time of realization of the project.

Moreover we use a project management software, and we introduce the constraint of limited resources. For that we used the computer tool for the smoothing of the resources.

8.2 Solving tools and methods

The purpose of planning is to organize the progress of the project stages over time. A fundamental task for the control of the deadlines. Generally, to plan a project, the first phase consists of dividing it into several stages, estimating the duration, identifying the sequence of the stages (including those that can be carried out in parallel), allocate resources (financial and manpower). Finally, modeling this organization on an operational document shared by all the actors involved.

Scheduling is exactly in the planning phase, it consists in organizing in time the realization of a set of the realization of a set of tasks, taking into account temporal constraints (deadlines, constraints of constraints, ...) and constraints on the use and availability of required resources, by choosing an optimization criterion (e.g. minimizing the total duration of the project, minimizing the total cost, ...etc).

Methodical modeling is a translation of an observation in order to apply mathematical tools, techniques and theories. It is a crucial step for the study of any problem in operations research. Modeling project scheduling problems requires the knowledge of some basic concepts of graph theory and linear programming.

8.2.1 Gantt chart

The Henry Gantt chart is a horizontal bar graph that was an innovative way for managing overlapping tasks. This chart was revolutionary at the time because it was based on time rather than quantity, volume or weight. The Gantt chart represents :

- On the x-axis the time (expressed in months, weeks or days).
- On the ordinate axis the list of tasks.
- Horizontal bars aligned with the extension of each task represent the duration of the task (these bars allow to represent overlapping tasks in time).
- Arrows represent the dependency links between tasks because some tasks cannot be started until others are completed while others can be carried out in parallel, the dependency links are therefore not automatic.

8.2.2 Graph theory

A graph is a geometrical design defined by a set of points (called vertices or nodes), connected by a set of lines or arrows (called edges or arcs). Each edge has for extremities two points, possibly confused.

Graphs can be used to represent many common situations such as : Road links, communication networks, electrical circuits, links between various people or administrative entities. The theory of graphs allows to concretely transcribe facts by modeling them with mathematical objects, in order to solve different problems.

There are two main graphical representations of a project :

- The AoN (Activity-on-Node) representation.
- The AoA (Activity-on-Arrow) representation.

The abbreviations AON and AOA stand successively for : Activity On Network and Activity On Arc. These two notions are used in the representation of a project management network, which in turn is part of a broader and more general branch : graph Theory. The latter is used in several domains such as transportation, neural networks, optimization, etc. These two concepts were developed in the 1950s, AON to establish what is called the critical path of a project schedule and AOA in the PERT method (graph). CPM (Critical Path Method) to determine the critical path.

In the AoN representation, each activity is represented by a node and each directed arc represents a required precedence relation between two activities. Otherwise, the arcs represent the dependency links dependencies, nodes represent tasks.

The method of potentials or MPM Created in 1958 by M.B. Roy, under the name of MPM (Method of Metra Potentials), it systematically uses initial order relations (Start-Start). It is part of the so-called "potential-task" methods where the Activities (tasks) are represented by the vertices and the order relations between successive activities by links. We add a node 0 which corresponds to the date of the beginning of the project and a node $f = n + 1$ which corresponds to the end of the project. The major inconvenient of this method is that it only provides links between tasks of the type Start-Start. This means that a task j following a task i in the network can only start after the start of task i. This is why the minimum time that must elapse between the start of the previous activity and the start of the next activity must be systematically mentioned. The notion of precedence is completely absent in this method.

The Precedence Diagramming Method (PDM) Precedence Diagram Method (PDM) is a project planning tool. It consists in representing the possible overlaps of each task by using four types of links :

- Start-Start : The dependent task (B) cannot start until the task on which it depends (A) has started.
- End-Start : The dependent task (B) cannot start until the task it depends on (A) has finished.
- Start-End : The dependent task (B) cannot end until the task on which it depends (A) has started.
- End-End : The dependent task (B) cannot end until the task on which it depends (A) has ended. The dependent task can end at any time once the task it depends on is itself finished. The Finish to Finish link does not require that both tasks to finish at the same time.

The expression of the graph uses, as for the method of metra potentials (MPM), rectangles representing activities and arrows representing links. The antecedent method was developed following the PERT and critical path techniques ; its function is to allow a more accurate re-

presentation of the relationships between the different activities. the relationships between the different activities.

In the AoA representation each activity is represented by an arc and each event by a node. Otherwise the arcs represent tasks, the nodes represent "steps" of zero duration. The start node of the arc corresponds to the beginning of the activity, the finish node corresponds to the end of the activity or task. The classical end-start precedence relation with zero margin between two activities a and b (also noted $a \leq b$) means that the activity b can start as soon as the activity a is finished.

The PERT method During the years 1957-1958, the American navy sought to quickly complete the POLARIS project, a simultaneous production of a missile-launching submarine and the adapted rocket, made operational at the same date. This project, involving some 250 suppliers and more than 9000 subcontractors, posed a complex coordination problem, to say the least, as the scheduling of tasks exceeded the usual limits. The engineers of the navy's planning office then developed a scheduling method based on modern mathematics. The PERT method was born and, according to some authors, would allow a gain of two years on the duration of the POLARIS project. It made it possible to carry out the project in two and a half years whereas it had been planned for seven years. Program Evaluation and Research Tasks.

The PERT method makes it possible to evaluate the duration of a complex project and to detect the parts of the project that cannot be delayed. parts of the project that cannot be delayed. The project will be subdivided into tasks. In general, they will not all be the project will be subdivided into tasks. In general, they cannot all be carried out simultaneously, some tasks must be completed before others can be started. The project information will be summarized in a table, called a schedule, where the tasks, their duration, and any prioritization constraints are listed.

The method starts with the construction of a graph, called PERT graph, from the schedule. This graph will be a valuated graph whose arcs will be the tasks, the values of the arcs being their duration and the vertices will represent vertices will represent the project's progress states, numbered from 1 to n .

The CPM (critical path method) The first use of the critical path method, borrowed from the theory of graphs dates back to 1956. It is due to the Americans J.E. Kelley (Du Pont de Nemours) and M.R. Walker (Remington Rand) and is sometimes also called C.P.S. (Critical Path Scheduling), the notion of "Critical Path method" having been extended in the meantime to indicate all the standard procedures, used in the various systems to determine the minimum total duration of execution of a program, compatible with the constraints.

The project for the rehabilitation and implementation of the oil port facilities, consists of 40 main tasks. In addition, we note that most of the tasks can be started as soon as a percentage of the percentage of the previous tasks is completed. For example, task 3 can start after 5 days from the For example, task 3 can start after 5 days from the beginning of task 2, task 11 can start after 10 days from the beginning of task 10.

In order to facilitate the construction of the PERT network and the MPM network, and to express the conditions of partial conditions, we have split the tasks((see tables in appendix)). After splitting the tasks, determining the associated dates and margins, determining the levels of the tasks we obtain two types of graphs :

In a potential-step graph, we associate a graph $G = (X, U)$ with the scheduling problem : The tasks are represented by arcs in a network. The ends of these arcs are events which materialize either the beginning or the end of a given operation. The arcs, either real tasks, or fictitious

tasks allowing to represent some potential constraints. In a potential-task graph, we associate a graph $G^A = (X^A, U^A)$. The tasks are represented by vertices and the arcs represent the precedence constraints. Thus the constraint i precedes j is symbolized by an arc between vertices i and j .

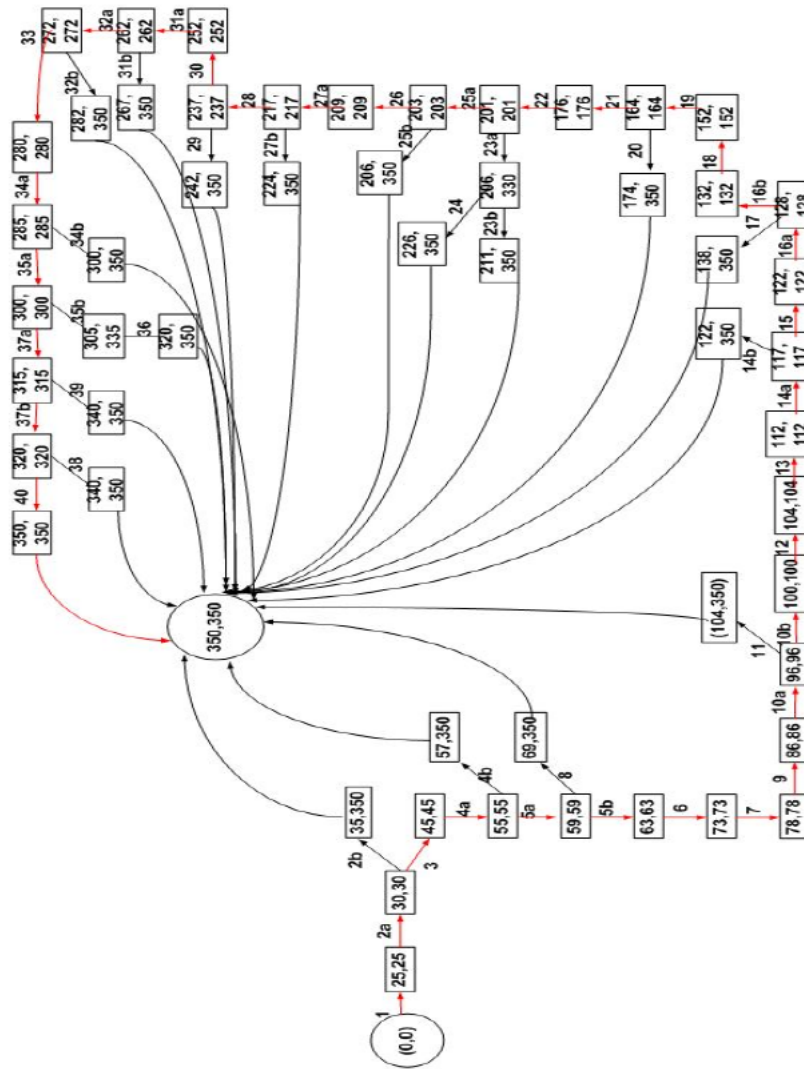


FIGURE 8.1. PERT network.

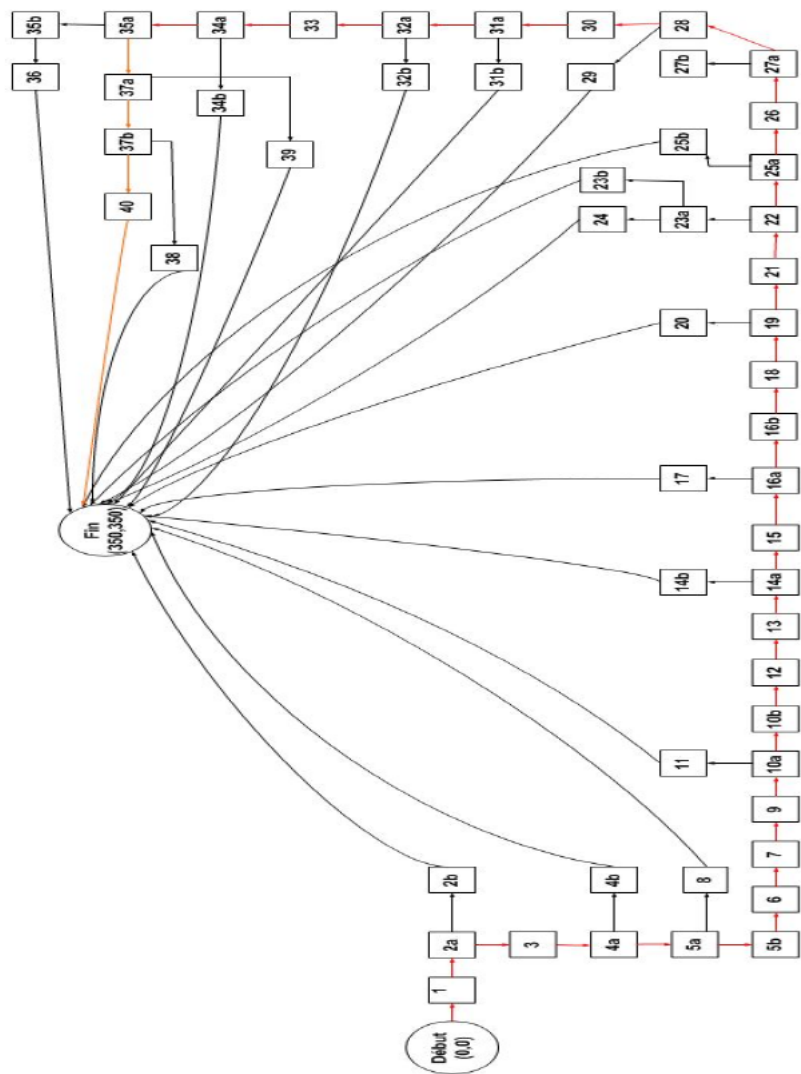


FIGURE 8.2. PDM network.

The critical path in both networks is the longest path from the beginning to the end, its value is the minimum duration of the project. In our situation we have obtained the following critical path :

1 → 2a → 3 → 4a → 5a → 5b → 6 → 7 → 9 → 10a → 10b → 12 → 13 → 14a → 15 → 16a → 16b → 18 → 19 → 21 → 22 → 25a → 26 → 27a → 28 → 30 → 31a → 32a → 33 → 34a → 35a → 37a → 37b → 40.

After applying the PERT and PDM methods, we were able to optimize the total duration of the project by 190 days in working days. The minimum duration of the project is about 350 days in working days.

The Gantt chart, commonly used in project management, is one of the most effective tools to visually represent the progress of the different (tasks) that make up a given project.

Each task is represented in the left-hand column of the diagram, while the top line represents the The left-hand column of the diagram lists all the tasks to be carried out, while the top line

represents the time units most appropriate for the project (days, weeks, months, etc.). Each task is materialized by a horizontal bar, whose position and length represent the start date, duration and end date. In order to represent the Gantt chart representing our project we used Ms project 2003.

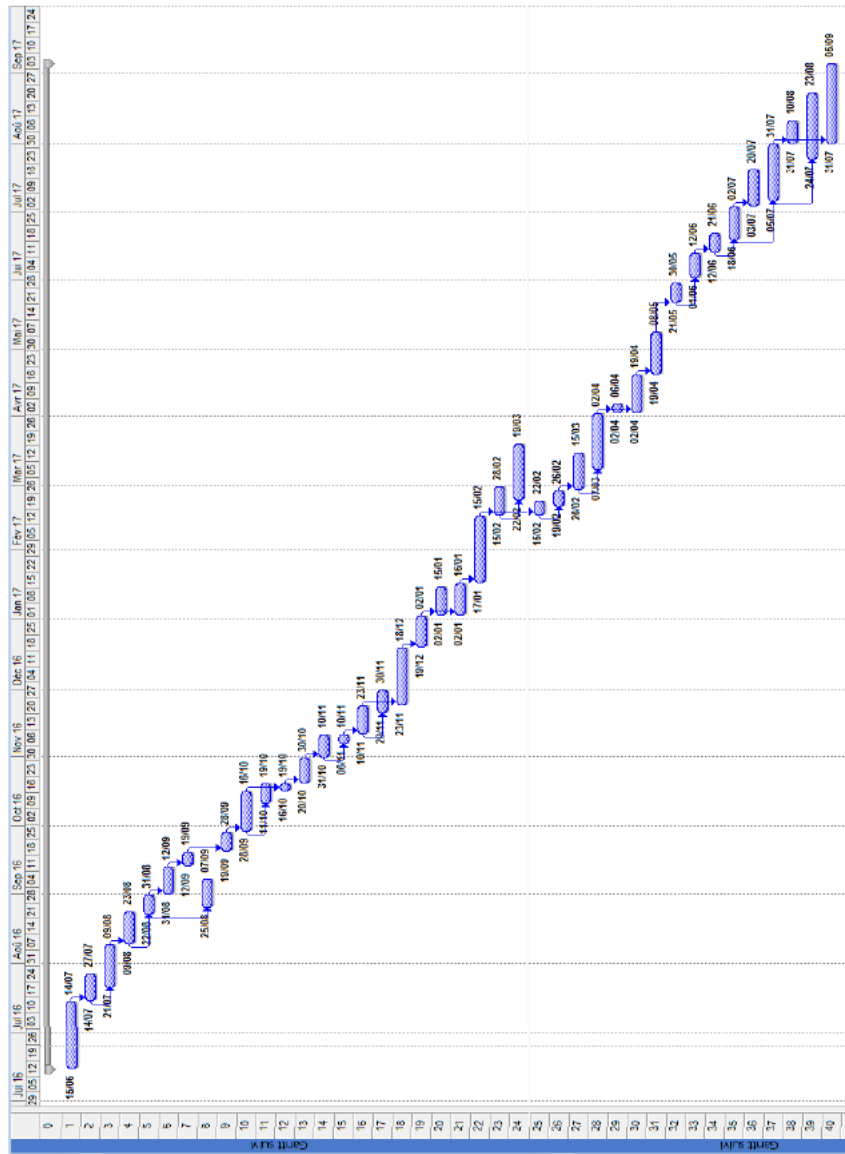


FIGURE 8.3. Gantt diagram representing the project.

8.2.3 Linear programming

All linear programs have three crucial elements :

-Decision variables : what the decision is about, what allows the constraints to be expressed, and the objective function.

-Objective function : it is used as a criterion to determine the best solution to an optimization problem. To each decision variable, there is an economic coefficient indicating the unit contribution of the corresponding variable to the objective.

-Constraints : In the decision problem, it is necessary to be able to identify any kind of restriction (manpower, space, budget,...) that can limit the values that the decision variables can take.

Each restriction, limitation or requirement usually corresponds to a constraint that will take the form of an equation. The set of constraints formulated in this way constitutes the domain of possible solutions to the model.

The general form of a linear program (LP) is as follows :

$$\begin{aligned} \min \text{ ou } \max z &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq, =, \geq b_i \quad \forall i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

This program has an objective function to be optimized, n non-negative variables, and m equality or inequality constraints. c_j is the profit coefficient of the variable x_j ; that of the variable x_j in the constraint i is denoted a_{ij} . The constraint i has a constant second member b_i .

The problem's data :

-Let T be a set of tasks (phases of the project) ;

- d_i a duration for each one ;

- we have for each task a predecessor.

- The decision variables : let t_i be a decision variable, such that $i \in T$, with $T = 1, 2, \dots, 40$.

Two fictitious tasks are introduced : α represents the beginning of the work and ω represents the end of the work. These two tasks have a zero duration. We take $t = 0$, i.e. the origin of time is set at the date of the beginning of the work. The end date of the work will be measured by t_ω , the execution date of the fictitious task ω . $t_\alpha = t_0 = 0, t_\omega = t_{41}$ represents the duration of the work.

Decision constraints :

a) Constraints of successions : $t_j = t_i + d_i \Rightarrow t_j - t_i \geq d_i$.

b) Constraints of partial successions : $t_j \geq t_i + p_i d_i \Rightarrow t_j - t_i \geq p_i d_i$.

The objective function :

ω represents the task "end" of the project, the criterion can be translated by :

$$\text{Min}(t_\omega) = t_{41} - t_0$$

In order to solve the linear program associated with the scheduling problem of the oil port rehabilitation project, we used a Matlab function program which uses a primal-dual interior point method, it solves both primal and dual problems by an interior point method based on Newton's method. The program looks for the minimum of the problems.

We obtained the same result as before, we found that the minimum duration of the project is 350 days in working days. This result is obtained after 5 iterations of the interior point algorithm.

8.3 conclusion

Project scheduling problems are among the most studied scheduling problems since the origins of scheduling theory. In spite of the numerous signs of progress made despite their apparent simplicity, these problems constitute a challenge for current operations research. Since they were first used in the late 1950s, PERT, CPM, and MPM have been used extensively to assist project managers in planning, scheduling, and control of their projects. Over time, these two techniques gradually benefited from the advantages of each other.

In this work, we have presented different phases of project development. We have studied in detail the central problem of scheduling under its various aspects : models, methods and tools of calculations. We have modelled and solved the scheduling problem of the project of the rehabilitation of the oil port with the help of the graph theory, using the Gantt technique, the PERT method, and the PDM method. We have also modelled our scheduling problem as a linear program that we solved using Matlab software.

In the presence of resource constraints, scheduling becomes essentially difficult and the critical path resolution methods are therefore inadequate. In this situation, we have used the functionalities of the Ms project software for resource levelling.

Unlike the work done on scheduling at Sonatrach, which attempts to solve the resource-constrained project scheduling problems (RCPSP) using metaheuristics such as the genetic algorithm and the ant colony algorithm, our first study focuses on the central scheduling problem (unlimited resources) for which we apply two modelling and resolving approaches.

BIBLIOGRAPHY

[1] M. Aidene et B.Oukacha. Recherche opérationnelle (Programmation linéaire), Edition Bleues. Pages 208p, 2005.

[2] A. Aïssani et S. Kadi. Ordonnancement de projet à l'aide d'un algorithme génétique : réalisation d'une caserne de sécurité au terminal marin sud, RTC-Bejaia, Université Abderahmane MIRA, Bejaia, 2013.

[3] D. Aïssani, A. Bouchilaoune et A. Boufadene. L'algorithme de colonies de fourmis pour l'ordonnancement des tâches d'un projet. cas de la Cité Béni Mansour, Sonatrach, Université Abderahmane MIRA, Bejaia, 2015.

[4] N. Anane. Méthodes de points intérieurs pour la programmation linéaire basées sur les fonctions noyaux, mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif 1, 2012.

[5] F. Aouache et M. Belharet. Planification et gestion de projets. Cas : Réalisation d'une station terminale El-Kala au sein du groupement SAIPEM, Mémoire d'ingénieur d'état, Université Mouloud Mameri, Tizi-ouzou, 2012.

[6] G.B. Dantzig. Origins of the simplex method. In G. Nash, éditeur, A History of Scientific Computing, ACM Press Hist. Ser., pages 141.151. ACM Press, Reading, MA, 1990.

[7] G.B. Dantzig. Linear programming and extensions, Princeton University Press, Princeton, 1963.

- [8] E. Demeulemeester et J. Belien. Operating room planning and scheduling : A literature review, *European Journal of Operational Research*, 2010.
- [9] Y.Dotch. Optimisation appliquée, Livre, Imprimé en France, édition : Springer, Septembre 2004.
- [10] G. Fink. Recherche opérationnelle et réseaux, Lavoisier, Paris, 2002.
- [11] N.Francis. Planification dans le bâtiment, Livre, Edition dunod, 1975.
- [12] V.Galvagnon. Aide à la décision en gestion multi-projet distribuée : Approche locale pour la planification à moyen terme, thèse Doctorat, École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace, 2000.
- [13] C. Guéret, C. Prins et M. Sevaux. Programmation linéaire, Eyrolles, 2000.
- [14] A. Hait, C. Artigues, P. Baptiste et M. Trepanier. Ordonnancement sous contraintes d'énergie et de ressources humaines, In : 11^e congrès de la Société Française de Génie des Procédés, Saint-Etienne, France, 2007.
- [15] S. Justine. La gestion de projet appliquée au secteur de la traduction : Réflexions autour de la traduction du livre de vulgarisation scientifique "A Zeptospace Odyssey" de Gian Francesco Giudice, Mémoire master, Université de Genève, 2013.
- [16] LA Hoang Trung, Utilisation d'ordres partiels pour la caractérisation des solutions robustes en ordonnancement, Thèse de Doctorat d'état, l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France, 2005.
- [17] S.Laurent. Méthodes d'Optimisation, Licence Professionnelle Logistique, Université du Littoral-Côte d'Opale, Pôle Lamartine, Septembre 2011.
- [18] La qualité dans tous ses outils 108 pert, Document Word,2016.
- [19] D.E. Maurel, D. Roux, D. Dupont. Techniques opérationnelles d'ordonnancement, 342 pages Edition : Eyrolle, 1977.
- [20] N.E. Mouhoub. Algorithmes de construction de graphes dans les problèmes d'ordonnancement de projet, Thèse Doctorat, Université de Sétif, 2011.
- [21] E.Saule, P-F. Dutot. Scheduling with storage Constraints in electronic proceedings of IPDPS, Miami, Florida USA, 2008.
- [22] E. Sigward.Introduction à la théorie des graphes, édition : dundo, Paris, 2002.
- [23] A. Yezza. Que signifient AON et AOA, thèse Doctorat, oct 2012.
- [24] J.P. Zahlen, Description et étude des principes et techniques modernes de traitement des problèmes d'ordonnancement, Luxembourg, 1965 N°1.

Troisième partie

Evaluation des performances

Modélisation et Evaluation de Performances de la Solution Cloud Computing de l'entreprise ICOSNET Alger

Outamazirt A., Dehdouh A., Drizi F., Aïssani D. et Bouallouche-Medjkoune L.

outamazirt.assia@gmail.com, lamos_bejaia@hotmail.com, louiza.medjkoune@yahoo.fr

Résumé En Algérie, la majorité des entreprises n'ont pas encore opté pour les nouvelles technologies d'information et de communication, ainsi, une feuille de route relative au Cloud Computing est en cours d'élaboration, et le gouvernement compte la présenter à l'ensemble des opérateurs afin de les inciter à investir dans ce domaine. Parmi les entreprises ayant lancé leurs solutions Cloud, on trouve, l'entreprise ICOSNET, une entreprise dotée d'un data center présent au sein de son organisme. Dans ce travail, nous étudions le processus de cheminement d'une demande de client du Cloud ICOSNET depuis son arrivée jusqu'à sa supervision en modélisant le système de la création de ressources sous forme d'un réseau de Jackson ouvert avec cinq stations et le système de la supervision sous forme d'une file d'attente $M/M/1$. Nous évaluons les performances de nos deux systèmes et, les résultats obtenus ont été validés par simulation. Les résultats obtenus montre la grande responsabilité de l'entreprise ICOSNET sur la prise en charge de son client en lui assurant une disponibilité de ressources informatiques tout en répondant à l'évolution de ses besoins et d'éviter toute relation déséquilibrée entre clients-fournisseurs.

Mots clés : Solution Cloud d'ICOSNET, Evaluation de Performances, Réseaux de Files d'Attente, Simulation.

9.1 Introduction

Le cloud computing est devenu la nouvelle norme pour l'exécution d'applications et de charges de travail dans l'industrie. La plupart des entreprises hébergent aujourd'hui leurs services sur des clouds privés ou publics, et des fournisseurs du service cloud public (Google Cloud Platform, Amazon Web Services, et Microsoft Azure) offrent un support pour la plupart des services requis par les systèmes et applications complexes. L'infrastructure en tant que service (IaaS), la plate-forme en tant que service (PaaS) et le service en tant que service (SaaS) sont les modèles de services de cloud computing les plus populaires utilisés dans l'industrie [1].

En Algérie, la majorité des entreprises n'ont pas encore opté pour cette technologie, ainsi, une feuille de route relative au Cloud Computing est en cours d'élaboration et le gouvernement compte la présenter à l'ensemble des opérateurs afin de les inciter à investir dans ce domaine [2]. Parmi les entreprises ayant lancé leurs solutions Cloud, on trouve, par exemple, ICOSNET, Electronic Business Services, Algérie Presse Service Cloud,... Dans ce travail, nous nous intéressons à l'entreprise ICOSNET où le stage de fin de cycle Master II de nos étudiants a été effectué. Cette entreprise est dotée d'un data center présent au sein de son organisme, ce qui a facilité à nos étudiants de comprendre l'architecture du data center ainsi que le processus de cheminement d'une demande de client depuis son arrivée jusqu'à sa supervision.

ICOSNET est une entreprise créée en 1999, elle se positionne comme un opérateur d'accès internet et de solutions de télécommunication et s'impose aujourd'hui sur le marché de la convergence voix et données pour les PME/PMI et les grands comptes multinationaux installés en Algérie. Avec son équipe, elle a su capitaliser une importante expérience et nouer un relationnel conséquent avec les différents acteurs du secteur des télécommunications en Algérie et à l'étranger. ICOSNET se distingue par son approche technique et qualitative. La société a ainsi

montré son savoir-faire et sa maîtrise, notamment auprès des entreprises multi-sites. Sur le marché algérien, ICOSNET est un opérateur à part entière (autorisations ISP, VoIP et Wi-max). Ce positionnement lui permet de s'adresser à une clientèle large, de convaincre des clients de taille significative et de pouvoir proposer des solutions de connexion et de communication économiquement plus avantageuses et plus abouties. Car à partir de 2009, toute la connectivité internet est acheminée depuis Londres, ce qui a largement contribué à la fiabilité du réseau ICOSNET. Aujourd'hui, plusieurs entreprises algériennes et grands groupes internationaux implantés en Algérie ont fait confiance à ICOSNET, qui ambitionne d'étendre son implantation sur le territoire national.

Le Cloud d'ICOSNET est un Cloud privé où le fournisseur est bien l'Entreprise elle-même et les éditeurs sont les clients qui consomment les services du Cloud. Ces clients peuvent être soit internes comme les différents départements et services de l'entreprise, soit externe comme les banques, assurances, boîtes d'intégrations et startup ou des clients individuels. Le Cloud d'ICOSNET est sous l'architecture SaaS, il repose sur la solution Cloud VMware qui offre toute la sécurité et la qualité de service exigée par le client, et ce, en engageant des contrats SLA. Afin de gérer le contrôle du Cloud, l'Entreprise utilise le système d'information CRM, et pour la tarification, elle utilise l'application charge Back qui offre plusieurs possibilités d'arrangement pour tarifier le client selon la demande.

9.1.1 Position du problème

L'introduction des Technologies d'Information et de Communication dans nos vies quotidiennes requiert un changement d'habitudes et un temps d'apprentissage qui implique une contribution médiatique plus forte. Le Cloud Computing avance timidement dans l'environnement des services informatiques en Algérie, malgré même qu'il soit très en vogue à l'échelle mondiale. Les entreprises tardent à y investir, mais elles commencent à innover tout en intégrant dans leurs structures et elles sont très intéressées de savoir comment sauvegarder des informations et des données vitales afin d'assurer la continuité de leur fonctionnement même après des préjudices matériels subis en cas d'accidents, séismes, incendies ou même de sabotage. D'un autre côté, les clients (futurs utilisateurs) montrent une certaine réticence quant à la virtualisation de l'intégralité de leurs données à distance sur un Cloud et une crainte et méfiance sur le fait de confier leurs données sur le plan sécurité et confidentialité. C'est pourquoi, il nous semble intéressant d'étudier le Cloud Computing et analyser les performances du data centers afin d'évaluer sa flexibilité, de répondre à l'évolution des besoins et d'éviter toute relation déséquilibrée entre clients et fournisseurs.

Le travail présenté dans ce document consiste à l'étude de la solution Cloud de l'entreprise ICOSNET où le suivi d'un processus de cheminement d'une demande d'un service cloud du client a été effectué et analysé étape par étape. Pour ce faire, nous avons opté pour la modélisation analytique stochastique en utilisant les formalismes de files et de réseaux de files d'attente. Deux modèles ont été construits : le premier représente le processus de la création de ressources modélisé sous forme d'un réseau de Jackson ouvert avec cinq stations et le deuxième représente le processus de surveillance modélisé par une file d'attente $M/M/1$. la solution de ces modèles a été obtenue analytiquement et par simulation.

Le reste de ce document est structuré comme suit. Dans la section 2, nous présentons le fonctionnement du Cloud d'ICOSNET. Dans la section 3, nous proposons une modélisation analytique stochastique de deux systèmes "création de ressource" et "la supervision", puis une

évaluation de performances de ces deux systèmes a été présentée dans la section 3. Enfin, la section 4 conclut le document.

9.2 Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET

Côté administratif et technique (voir Figure 9.1) :

Pour que le client puisse accéder au Cloud, il doit suivre une certaine procédure administrative. En effet, le client communique sa requête (demande) au service commercial, puis ils négocient tous ensemble une offre qui les arrange. Une fois que les deux partenaires trouvent un terrain d'entente, la requête est transmise au Service technique qui étudie la faisabilité de la demande, puis il crée une version test pour une durée déterminée afin que le client puisse tester le produit, et cela, en posant leurs conditions sur la faisabilité selon les moyens disponibles et le type de la demande du client. Enfin, le Service technique transmet le produit test et les contraintes au Service Commercial, qui à son tour les propose au client.

Si le client n'est pas satisfait du produit test, il quitte le système en informant le service commercial pour libérer les ressources qui lui ont été attribuées ; Sinon il communique son souhait de garder ressources au Service Commercial et d'accepter de signer le contrat SLA qui est renouvelable tous les ans. Le Service Commercial informe le Service technique afin de prendre en charge la demande du client. Une fois ces ressources sont créés, le client pourra les gérer selon ses besoins.

En cas d'incident (problèmes techniques), le client envoie une requête au Support technique qui va étudier le problème, puis la requête sera dispatchée au service concerné dans le but d'y remédier.

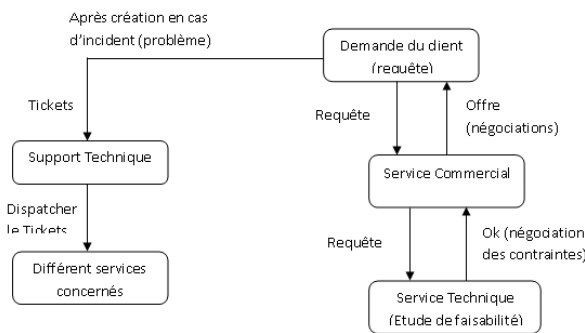


FIGURE 9.1. Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté technique.

Côté virtuel (voir Figure 9.2) :

À la demande du client (interne ou externe à l'Entreprise), le fournisseur ICOSNET lui fournit un pool qui a une capacité finie de ressources (RAM, CPU, Disque). Le client gère son pool selon ses besoins. Il peut aussi créer à l'intérieur des Machines Virtuelles "VMs", des sous pools ou des groupes de VM (VApps). Si le client demande une petite capacité de ressources, le Service technique d'ICOSNET peut lui allouer des VMs/VApps qu'il affecte directement au pool créé préalablement. Ainsi, il dispose à l'intérieur ses services qu'il alloue à son tour à ses propres clients. Ce service peut être un espace de stockage, applications, logiciels, ...

La consommation du client ne peut dépasser la capacité du pool, VM ou VApps) qui lui est attribué. Au-delà de cette capacité, il doit demander au fournisseur d'augmenter sa capacité ce qui engendre une augmentation des frais.

Dès la génération d'une requête, une fiche technique lui est destinée dans le système d'information et la base de données CRM du Service Technique d'ICOSNET. Ainsi, une "VM test" disposant de ressources finies est créée pour une durée déterminée (un mois) afin que le client puisse tester le produit. Le cas de satisfaction de la part du client donnera naissance à la "VM de production", qui sera gérée par le client, comme suit :

- Préparation de VM (allouer les ressources : RAM, CPU, Disque).
- Choix du système d'exploitation (selon les besoins du client et les moyens disponibles dans l'Entreprise).
- Installation du système.
- Configuration des services.
- L'accès réseau (Adresse IP, Port).

Du côté du fournisseur ICOSNET, la gestion de ces VMs se fait à travers le CRM, car il offre la possibilité de planifier les tâches, de conserver les contacts et les fiches techniques, de surveiller les équipements POP (Switch, Routeur, Wimax) et les équipements téléphoniques IPBX (standard pour la voie, la messagerie) qui raisonnent avec le protocole IP. Le CRM fournit aussi un tableau de bord pour surveiller et gérer les incidents, les données et faire des statistiques sur le nombre de réclamations et actions. On peut trouver dans le CRM un espace de travail propre à chaque individu travaillant dans l'Entreprise, un espace de vente, marketing, ...

Lors d'utilisation d'une VM, le client peut rencontrer des problèmes. Il envoie un ticket au fournisseur qui va le dispatcher vers le service concerné à travers la boîte de messagerie du CRM afin de régler le problème. Une fois que celui-ci est réglé, un ticket sera renvoyé au client pour lui confirmer la résolution du problème.

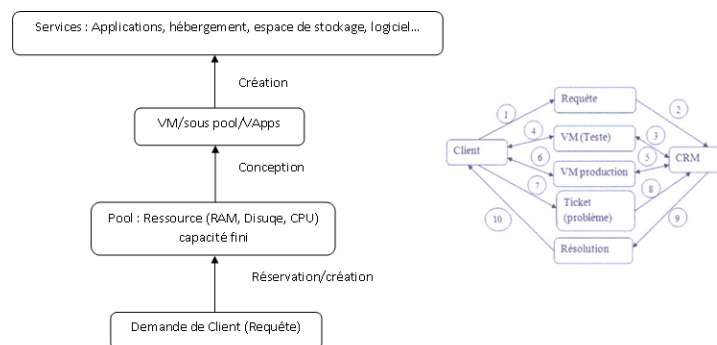


FIGURE 9.2. Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté virtuel.

Le tableau suivant décrit les flux existants dans le modèle de fonctionnement du cloud d'ICOSNET du point de vue virtuel présenté dans la Figure 9.2.

9.3 Modélisation Analytique

Après avoir étudié le Cloud d'ICOSNET et assimilé son fonctionnement sur ses différents aspects administratif, technique et virtuel, nous avons suivi l'enchaînement de la requête depuis

Numéro du flux	Les flux
1	Génération d'une requête
2	Création d'une fiche technique
3	Création d'une VM test
4	Tester la VM test
5	Naissance de la VM production
6	Exploitation de la VM production
7	L'envoi du ticket
8	Réception du ticket
9	Résolution du problème
10	Confirmation de la résolution du problème

TABLE 9.1. Les différents flux.

son lancement de la part du client jusqu'à sa supervision finale de la part de l'Entreprise. Cette étude approfondie du système met en évidence deux grandes étapes, qui sont la création et la supervision. Dans ce qui suit, nous allons modéliser et analyser les performances de ces deux étapes séparément.

9.3.1 Système de la création et de la supervision

Les clients envoient des requêtes. Ces dernières vont passer par plusieurs étapes techniques comme suit :

- Création du pool de ressources.
- Affectation du pool de ressources.
- Création du VM.
- Exploitation de VM par le client.

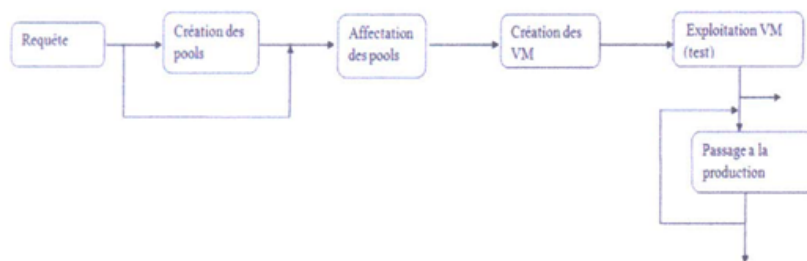


FIGURE 9.3. Les étapes de la création d'une VM

Dès son arrivée à ce niveau au système, la requête passe par plusieurs étapes techniques :

- Supervision des VM et consommation des ressources.
- Table de shooting (Résolution du problème).

L'objectif d'étude comme nous l'avons cité auparavant est d'évaluer les performances de la plateforme du Cloud Computing d'ICOSNET, ce qui nous ramène en premier lieu à la modélisation.

Les deux modèles conceptuels (voir les Figures 9.3 et 9.4) que nous avons conçus décrivent le cheminement d'une (ou plusieurs) requêtes dès son arrivée dans le système et son passage par

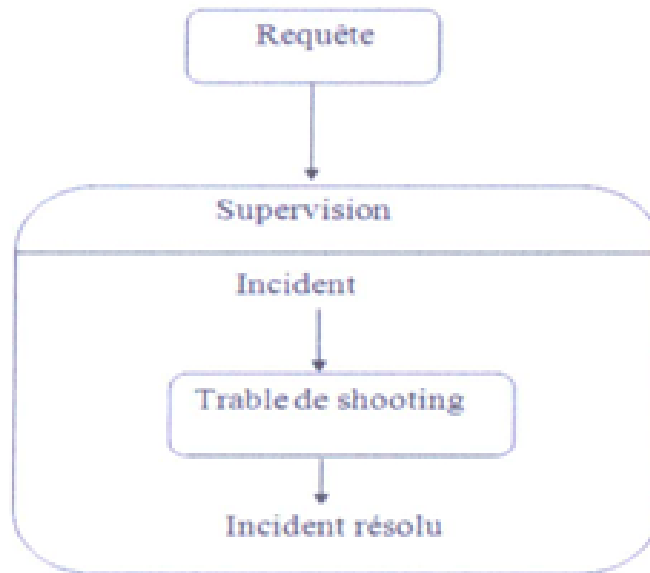


FIGURE 9.4. Les étapes de la supervision.

les différents services. Nous avons remarqué que s'il y a plusieurs arrivées, on se retrouve dans le cas d'attente, ce qui nous a amené à modéliser nos systèmes par des réseaux de files d'attente. Aussi, nous avons opté pour les réseaux de files d'attente, car nous sommes face à un réseau de télécommunication et la modélisation d'un tel réseau se fait en général par les réseaux de files d'attente.

9.3.2 Modélisation du système de la création par un réseau de Jackson ouvert

Nous considérons le système de la création comme étant un réseau de Jackson ouvert avec cinq stations (voir la Figure 9.5), où les arrivées (les demandes de clients) suivent un processus de Poisson, les serveurs sont : 1) Serveur de la création des pools ; 2) Serveur d'affectation des pools ; 3) Serveur de création des VMs ; 4) Serveur d'exploitation des VMs (VM test) ; 5) Serveur de passage à la VM de production. Les durées de services sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées de loi exponentielle. La capacité de chaque file d'attente (station) est supposée infinie et la discipline de service est FIFO (First In first Out). Pour plus de détails sur les réseaux de Jackson ouvert, le lecteur peut se référer à [3, 4].

9.3.3 Modélisation du système de la supervision par une file d'attente $M/M/1$

Nous considérons le système de la supervision comme étant un modèle de file d'attente $M/M/1$ [3, 5] (voir la Figure 9.6) où les arrivées (ressources : CPU, RAM et Disque ; applications ; pools ; VMs ...) suivent un processus de Poisson. Les durées de services sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées de loi exponentielle. Un seul serveur : Serveur de Table Shooting et une capacité infinie du système. Les serveurs : Serveur de Table Shooting.

Afin de confirmer notre choix pour la file $M/M/1$, nous utilisons un échantillon de données récolté durant le stage à l'entreprise ICOSNET et effectuons un test Kolmogorov-Smirnov. Les

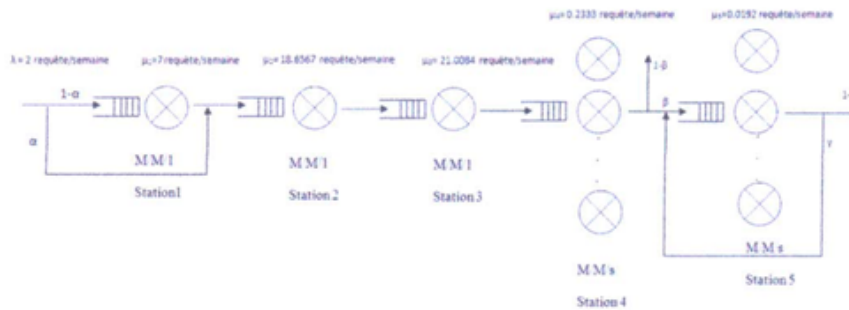


FIGURE 9.5. Modélisation du système de la création par un réseau de Jackson ouvert.

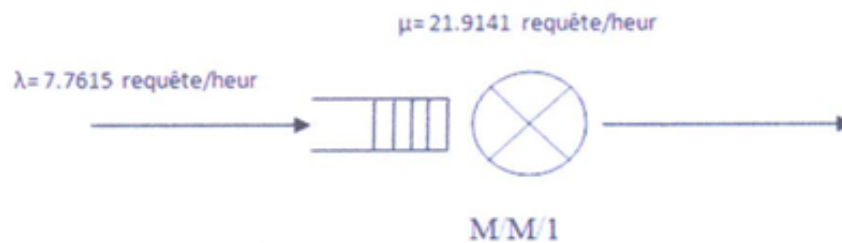


FIGURE 9.6. Modélisation du système de la supervision par une file d'attente M/M/1.

résultats obtenus de l'ajustement démontrent que le test de Kolmogrov-Smirnov ne rejette pas la loi exponentielle. Le tableau suivant représente les résultats d'ajustement :

Qualité d'ajustement - Détails [masquer]					
Exponential [≠10]					
Kolmogorov-Smirnov					
Taille de l'échantillon	16				
Statistique	0,42056				
Valeur de P	0,2576				
Rang	32				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valeur critique	0,44698	0,50945	0,56328	0,62718	0,66853
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non

9.3.4 Etude Statistique

Dans cette sous-sections, nous allons présenter une étude statistique réalisée sur la qualité de service fourni par la solution Cloud d'ICOSNET. Plus précisément sur la disponibilité des machines virtuelles qui hébergent les ressources des clients ; le volume des incidents et le volume

de résolution des incidents. Le but de cette étude est de voir si le Cloud d'ICOSNET arrive à satisfaire les clients de sorte que ces derniers auront accès à ses ressources à n'importe quel moment. La Figure (9.7) montre l'étude statistique faite sur la disponibilité des VMs durant les périodes : une journée, une semaine et un mois.

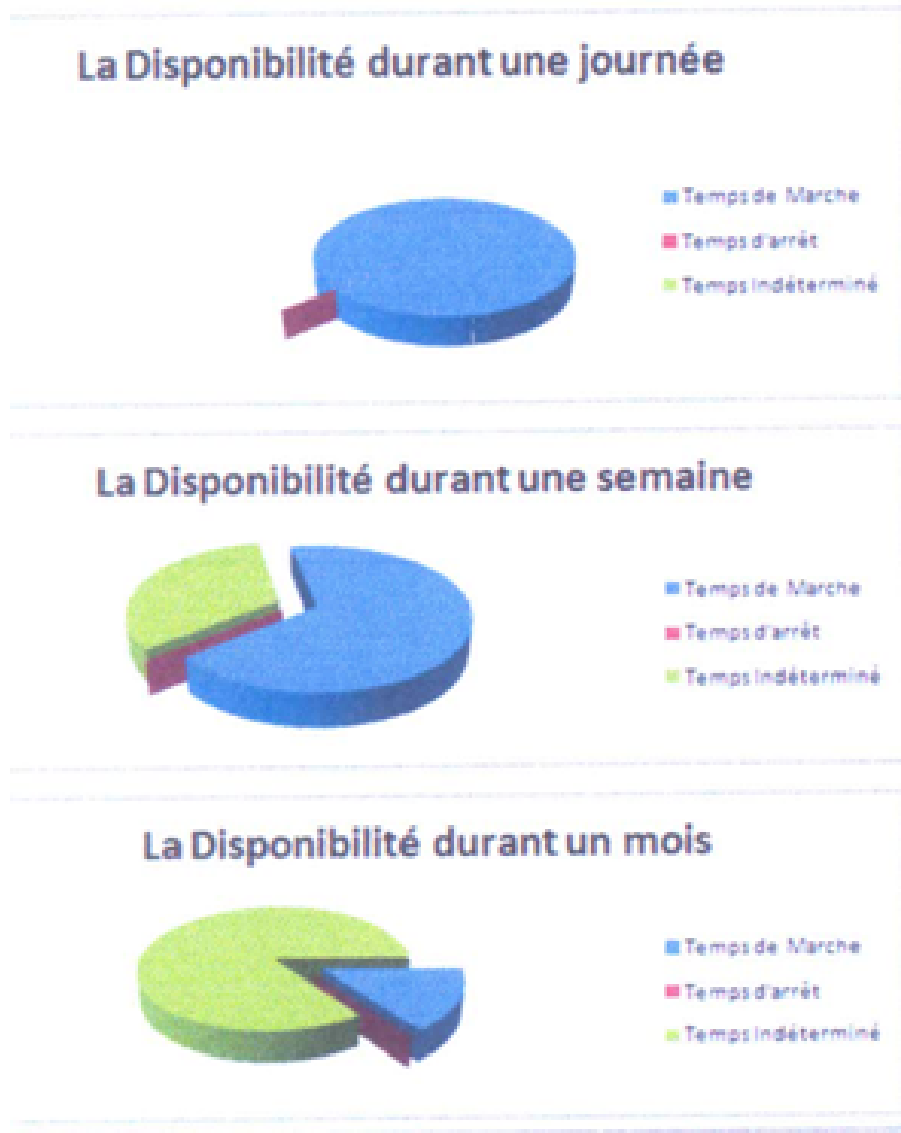


FIGURE 9.7. Disponibilité des VMs

Parmi les données fournies par des ingénieurs de l'Entreprise ICOSNET, nous avons celles qui concernent la disponibilité des machines virtuelles de leur solution Cloud. Nous avons pu les exploiter et les représenter sous forme de graphes de secteurs, où : le premier secteur représente la disponibilité des VMs durant une journée. Comme on peut le voir, les VMs sont quasiment en marche avec un pourcentage négligeable d'arrêts.

Pour le deuxième secteur, on remarque une réduction du temps de marche avec une augmentation du temps indéterminé et une quasi absence de temps d'arrêt. Par contre le troisième secteur, on remarque que le temps indéterminé dépasse largement le temps de marche durant le mois, avec le même temps négligeable d'arrêt. Où le temps indéterminé se définit par le fait que la VM est en état de veille. Cela signifie qu'elle est en marche mais qu'elle n'effectue pas de tâches durant une période donnée. Ainsi, on peut conclure que les VMs du Cloud sont toujours disponibles.

La Figure (9.8) montre l'étude statistique faite sur le volume des incidents.

Les données récoltées montrent qu'avec le temps (d'une journée à la semaine, à un mois ou à une l'année) que le volume des Warning diminue avec la hausse du volume des incidents Critical.

Les chiffres du volume d'incidents cités sont importants. En effet, il faut savoir qu'il y a trois types d'incidents :

- Les incidents de type Unknown : sont les incidents inconnus, qui sont des anomalies survenues dans le système, et qui se résolvent automatiquement dans une durée de temps qui pourrait être négligeable. Donc qu'il ne s'agit pas en réalité d'un incident qui aurait besoin de résolution.
- Les incidents de type Warning : sont juste des avertissements permettant de prévenir en cas de changement d'état pour éviter les incidents.
- Les incidents de type Critical : sont des incidents engendrés par des problèmes techniques (équipement, réseaux), non accessibles au service ; saturation de la capacité des ressources donné au client, etc. Certains de ces incidents se résolvent automatiquement et n'ont pas besoin d'une intervention pour leur résolution.

En résumé, nous sommes en face d'un grand volume d'incidents des équipements physiques et virtuels du Cloud. Néanmoins, ce ne sont pas des incidents qui influencent directement sur la qualité et la disponibilité de service fourni au client.

Les résultats présentés sur la Figure 9.9 montre le volume de résolution des incidents.

Les graphes ci-dessus présentent le volume de résolution des incidents durant une journée, une semaine, un mois et une année. La résolution de la majorité des incidents (78 % à 80 %) se fait dans une durée qui ne dépasse pas 5 min. Entre (13 % et 17 %) sont des incidents résolues dans une période variant de 5 à 20 min. Le reste qui constitue un petit pourcentage (5 %) de cas d'incidents importants à résoudre dans une période supérieur ou égale à 20 min. Ces résultats s'expliquent par la présence des trois types d'incidents cités auparavant.

9.4 Evaluation de performances

Le premier réseau : a) Etude analytique

Le premier réseau représente un réseau jacksonien ouvert, ce qui nous a permis de simplifier son analyse en l'étudiant station par station. Les performances de chaque station sont obtenues à l'aide des formules du réseau de Jackson. Nous avons réalisé une application permettant d'obtenir les résultats analytiques de ce système. En faisant varier dans un premier temps les probabilités a , p et y et dans un deuxième temps, nous fixons $a = p = y = 0.8$ et nous varions le taux d'entrée au réseau à "requêtes/semaine" (dans les conditions du régime stationnaire des stations et du système), et cela, en fixant le nombre de serveurs dans les files M/M/s à 100 ; Ceci



FIGURE 9.8. Volume des incidents

est dû à la diversité des ressources fournies aux clients. Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

Remarque : Le taux d'arrivée dans le réseau = 2clients/semaine est vraiment faible, mais avec l'arrivée des nouvelles solutions Cloud conçues par ICOSNET comme V AZII, lancés après notre récolte de données et qui a augmenté λ . Ainsi, on va le faire varier pour voir le



FIGURE 9.9. Résolution des Incidents

changement lié aux performances du réseau. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

b) Simulation Nous avons résolu le modèle par une deuxième approche à savoir la simulation. Un simulateur adapté au réseau de files d'attente a été conçu. En gardant la même procédure suivie dans la méthode analytique et pour une durée de simulation $T_{max} = 500$ semaines, les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

c) Interprétation des résultats D'après les résultats que nous avons obtenu, nous remarquons que les stations 3 et 4 ne sont pas atteintes par la variation des probabilités a , p et y comme le montrent les résultats analytiques, tandis que les stations 1, 2 et 5 sont légèrement influencées car elles sont concernées par cette variation en restant tout de même performantes. En variant les taux d'arrivée des requêtes dans le réseau, nous remarquons que les stations tou-

		ρ	E(n)	E(L)	E(T)	E(w)	P ₀	P ₁₀₀
$\alpha=0.8$ $\beta=0.8$ $\gamma=0.8$	File 1	0.0571	0.0606	0.0035	0.1515	0.0087	0.9429	0
	File 2	0.4610	0.8552	0.3942	0.0994	0.0458	0.539	1.2638 10 ⁻³⁴
	File 3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File 4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File 5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		111.4001		55.7000			
$\alpha=0.7$ $\beta=0.9$ $\gamma=0.6$	File1	0.0857	0.0938	0.0080	0.1563	0.0134	0.9143	0
	File2	0.4502	0.8190	0.3687	0.0975	0.0439	0.5498	1.2044 10 ⁻³⁵
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1154	11.5359	2.4763 10 ⁻⁵⁸	52.0833	1.1180 10 ⁻⁵⁷	9.7674 10 ⁻⁶	1.6867 10 ⁻⁵⁷
	Réseau		112.4122		56.2061			
$\alpha=0.5$ $\beta=0.4$ $\gamma=0.7$	File1	0.1429	0.1667	0.0238	0.1667	0.0238	0.8571	2.7306 10 ⁻⁶⁵
	File2	0.4288	0.7507	0.3219	0.0938	0.0402	0.5712	9.5999 10 ⁻³⁸
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.0556	5.5604	8.3305 10 ⁻⁶⁸	52.0833	7.8030 10 ⁻⁶⁷	0.0038	1.3843 10 ⁻⁶⁶
	Réseau		106.4413		53.2206			

λ		ρ	E(n)	E(L)	E(T)	E(w)	P ₀	P ₁₀₀
$\lambda = 4$	File 1	0.1143	0.1290	0.0147	0.1613	0.0184	0.8857	5.6483 10 ⁻⁸⁵
	File 2	0.3467	1.2061	0.6594	0.1182	0.0646	0.4533	2.6996 10 ⁻²¹
	File 3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File 4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File 5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		111.8195		55.9098			
$\lambda = 6$	File1	0.1714	0.2069	0.0355	0.1724	0.0296	0.8286	2.0865 10 ⁻⁷¹
	File2	0.6325	1.7209	1.0885	0.1458	0.0922	0.3675	4.6915 10 ⁻²¹
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		112.4122		56.2061			
$\lambda = 8$	File1	0.2286	0.2963	0.0677	0.1852	0.0423	0.7714	6.2359 10 ⁻⁶⁵
	File2	0.7182	2.5491	1.8309	0.1902	0.1366	0.2818	1.1871 10 ⁻¹⁵
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		113.3298		56.6649			
$\lambda = 10$	File1	0.2857	0.4000	0.1143	0.2000	0.0571	0.7143	2.7855 10 ⁻³⁵
	File2	0.8040	4.1021	3.2981	0.2735	0.2199	0.196	6.5748 10 ⁻¹¹
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		114.9864		57.4932			

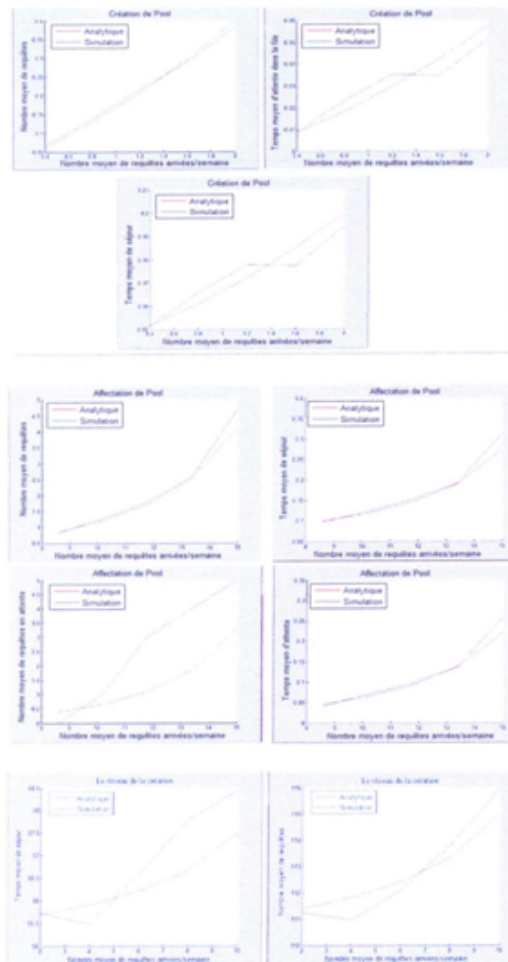
		E(N)	E(T)	E(L)	E(W)
$\alpha=\beta=\gamma=0.8$	File 1	0.0665	0.1518	0	0.0089
	File 2	0.8230	0.0965	1	0.0429
	File 3	7.6239	0.4111	3	0.3635
	File 4	92.0521	4.3289	0	0.3409
	File 5	10.6924	52.1542	2	0.0047
	Réseau	111.2579	55.7241		
$\alpha=0.7$ $\beta=0.9$ $\gamma=0.6$	File 1	0.0879	0.1480	2	0.0051
	File 2	0.6652	0.0876	0	0.0340
	File 3	7.2773	0.3900	5	0.3424
	File 4	92.9546	4.7861	4	0.8491
	File 5	11.4978	52.0987	1	0.0032
	Réseau	112.4828	56.5401		
$\alpha=0.5$ $\beta=0.4$ $\gamma=0.7$	File 1	0.0726	0.1494	1	0.0066
	File 2	0.6973	0.0884	2	0.0348
	File 3	8.8320	0.4741	10	0.4265
	File 4	92.8421	3.8631	7	0.
	File 5	5.6751	52.1409	0	0.0019
	Réseau	108.1191	53.0598		

chées sont seulement les deux premières, mais en général elles arrivent à satisfaire largement les besoins des clients car le nombre de clients dans la file ainsi que le temps d'attente sont faibles.

Il y a une légère différence entre les résultats analytiques et ceux de la simulation. Cela est dû au caractère aléatoire de la simulation. Une augmentation du temps de simulation donne de meilleurs résultats. Les graphes suivants présentent la variation du temps moyen de séjour, du

		E(N)	E(T)	E(L)	E(W)
$\lambda = 4$	File 1	0.1377	0.1661	0	0.0233
	File 2	1.2758	0.1232	1	0.0696
	File 3	6.6942	0.3608	8	0.3132
	File 4	91.9051	4.8647	3	0.0713
	File 5	10.9478	52.714	0	0.0019
	Réseau	110.9606	55.4718		
$\lambda = 6$	File 1	0.2153	0.1780	0	0.0351
	File 2	1.7787	0.1514	3	0.0978
	File 3	9.0597	0.4781	6	0.4305
	File 4	90.8252	4.9781	2	0.0248
	File 5	10.2154	51.9783	4	0.0124
	Réseau	112.0943	56.5897		
$\lambda = 8$	File 1	0.2888	0.1775	0	0.0347
	File 2	2.5794	0.1911	4	0.1375
	File 3	7.5526	0.4047	7	0.3571
	File 4	92.1049	5.1004	4	0.1521
	File 5	11.2481	52.5487	2	0.0418
	Réseau	113.7738	57.7841		
$\lambda = 10$	File 1	0.3823	0.1942	0	0.0513
	File 2	4.6946	0.3119	5	0.2583
	File 3	7.6979	0.4110	10	0.3634
	File 4	93.5791	4.9825	1	0.0687
	File 5	9.5781	52.8721	3	0.0087
	Réseau	115.932	58.4308		

nombre moyen de requêtes et du temps moyen d'attente en fonction de taux moyen d'entrée au système des stations 1 et 2 et du réseau sont représentés dans les figures ci-dessous :



Le système de réparation : a) Etude analytique

Les performances du système de réparation sont calculées : Nous allons faire varier les taux d'arrivée des évènements (incidents) comme dans le premier réseau, et ce, pour voir les performances du système de réparation en augmentant le taux d'arrivés. LE tableau suivant présente les résultats obtenus :

	ρ	E(N)	E(L)	E(T)	E(W)	P_0	P_{100}
$\lambda = 2.8812$ $\mu = 21.9141$	0.1315	0.1514	0.0199	0.0525	0.0069	0.8685	$6.7818 \cdot 10^{-89}$
$\lambda = 7.7615$ $\mu = 21.9141$	0.3542	0.5484	0.1942	0.0707	0.0250	0.6458	$5.4319 \cdot 10^{-46}$
$\lambda = 8.0222$ $\mu = 21.9141$	0.3661	0.5775	0.2114	0.0720	0.0264	0.6339	$1.4521 \cdot 10^{-44}$
$\lambda = 8.3333$ $\mu = 21.9141$	0.3803	0.6136	0.2333	0.0736	0.0736	0.6197	$6.3799 \cdot 10^{-43}$
$\lambda = 11.8095$ $\mu = 21.9141$	0.5389	1.1687	0.6298	0.0990	0.0533	0.4611	$6.5254 \cdot 10^{-28}$

b) Simulation

Nous avons aussi simulé ce système en faisant varier le taux d'arrivée des incidents, pour une durée de simulation $T_{max} = 1000$ heures. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	E(N)	E(T)	E(L)	E(W)
$\lambda = 2.8812$ $\mu = 21.9141$	0.1480	0.0505	0	0.0049
$\lambda = 7.7615$ $\mu = 21.9141$	0.5286	0.0696	0	0.0240
$\lambda = 8.0222$ $\mu = 21.9141$	0.5653	0.0702	0	0.0245
$\lambda = 8.3333$ $\mu = 21.9141$	0.6117	0.0743	0	0.0286
$\lambda = 11.8095$	1.1332	0.0961	0	0.0505

c) Interprétation des résultats

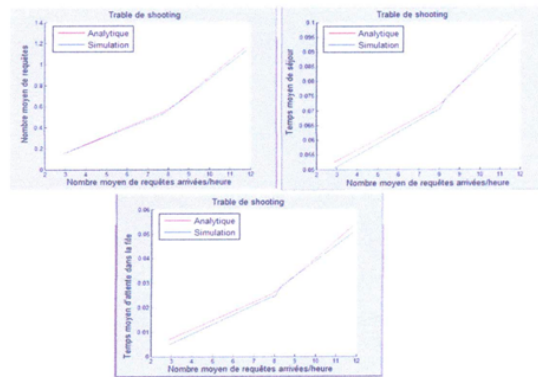
Les résultats analytiques et de simulation montrent que le système de réparation résout parfaitement les incidents, et cela est bien prouvé par les performances, car la longueur de la file d'attente et le temps d'attente sont faibles. On remarque toujours une légère différence entre les résultats analytiques et ceux la simulation. Cela est dû au caractère aléatoire de la simulation.

Les graphes suivants présentent la variation des temps moyen de séjour, du nombre moyen de requêtes et du temps moyen d'attente en fonction du taux moyen d'entrée au système :

9.4.1 Discussion des résultats obtenus

D'après les résultats de notre étude, nous pouvons conclure qu'ils se rapprochent du déroulement réel du processus de fonctionnement du Cloud d'ICOSNET ; ce qui nous amène à valider nos modèles. Aussi, les résultats de la simulation diffèrent légèrement des résultats analytiques, et ce, à cause du caractère aléatoire de la simulation. Ce qui conduit à la validation de notre modèle par la simulation, et nous donne ainsi la possibilité d'évaluer les performances dorénavant par la simulation, notamment lorsque les conditions des réseaux à forme produit ne sont pas vérifiés.

En analysant les résultats, on peut remarquer que : P_0 se rapproche de 1, tandis que P , se rapproche de 0, cela signifie que nos processus (création, et supervision) sont fluides, et que



nos serveurs arrivent à satisfaire largement les besoins des clients car les taux d'arrivée sont inférieurs aux taux de service.

9.5 Conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié la solution Cloud de l'entreprise ICOSNET. Pour ce faire, nous avons suivi la chaîne d'une demande de ressource d'un client depuis son arrivée jusqu'à son exploitation et sa supervision. Nous nous sommes focalisés sur l'analyse du système de la création de ressource (resp. du système de la supervision) que nous avons modélisés par un réseau de Jackson ouvert (resp. une file d'attente $M/M/1$). Par la suite, nous avons procédé à une évaluation de performances, et enfin, les résultats obtenus ont été validés par la simulation.

D'après notre étude, nous avons remarqué que le système de la création de ressources est performant malgré l'augmentation du nombre de clients dans le réseau. Cela se traduit par une bonne qualité du service Cloud d'ICOSNET et de la prise en charge de ses clients tout en minimisant leur temps d'attente. Pour le deuxième système qui surveille la disponibilité et les pannes des équipements physiques, virtuels et les ressources des clients, nous avons constaté que le système de résolution de panne est fluide et résout toutes les pannes tout en veillant à la minimisation du temps d'attente et ceci afin d'éviter tout mécontentement du client.

Nous avons aussi constaté que le volume d'incidents est trop important, mais cela est dû aux trois types d'incidents (Warning, Unknown et Critical). Par ailleurs, il faut pas oublier que l'un des avantages du Cloud Computing est que malgré que l'équipement physique est en panne (serveur : disque, CPU et RAM), les ressources du client restent toujours disponibles et cela grâce à leurs deux méthodes de sauvegarde.

Le nombre de clients, individuels ou entreprises, montrent une crainte liée à l'investissement dans des solutions Cloud. Notre étude sur le Cloud d'ICOSNET, divulgue une grande responsabilité de la manière dont cette entreprise prend en charge le client de façon à répondre à l'évolution de ses besoins et de respecter la confidentialité et la disponibilité de ses ressources.

Enfin, il semblerait intéressant d'élargir le périmètre de notre étude en étudiant les performances de nos deux systèmes dans le cas non Markovien qui est bien le cas qui montre le dynamisme de l'environnement du Cloud Computing.

Références

1. IBM Cloud (2021) *Iaas vs. paas vs. saas*, [Online]. Available : <https://www.ibm.com/cloud/learn/iaas-paas-saas>

2. AP Service (2020) *Une feuille de route relative au Cloud Computing en cours d'élaboration*. [Online]. Available : <https://www.aps.dz/sante-science-technologie/111107-une-feuille-de-route-relative-au-cloud-computing-en-cours-d-elaboration>
3. Jean-François Héche, Thomas M. Liebling, Dominique de Werra (2003) *Recherche opérationnelle pour ingénieurs II*. Tome 2, Editeur : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), NB de pages 350.
4. Ouiza Lekadir, Djamil Aïssani (2001) *Stabilité forte d'un réseau de Jackson à deux stations en tandem*. Thèse de magister, Université Abderrahmane MIRA, Bejaia
5. Klenrock Leonard (1975) *Queueing Systems*. Volume1 : Theory, Editeur : Wiley-Interscience. ISBN 10 : 0471491101 ISBN 13 : 9780471491101

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

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

rahmouneaoudia@gmail.com et lamos_bejaia@hotmail.com

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

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

10.1 Introduction

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

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

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

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

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

10.2 Description du Modèle

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

10.2.1 Collecte des données

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

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

10.2.2 Description du modèle

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

Station 1 :

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

Station 2 :

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

Station 3 :

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

Station 4 :

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

Station 5 :

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

Station 6 :

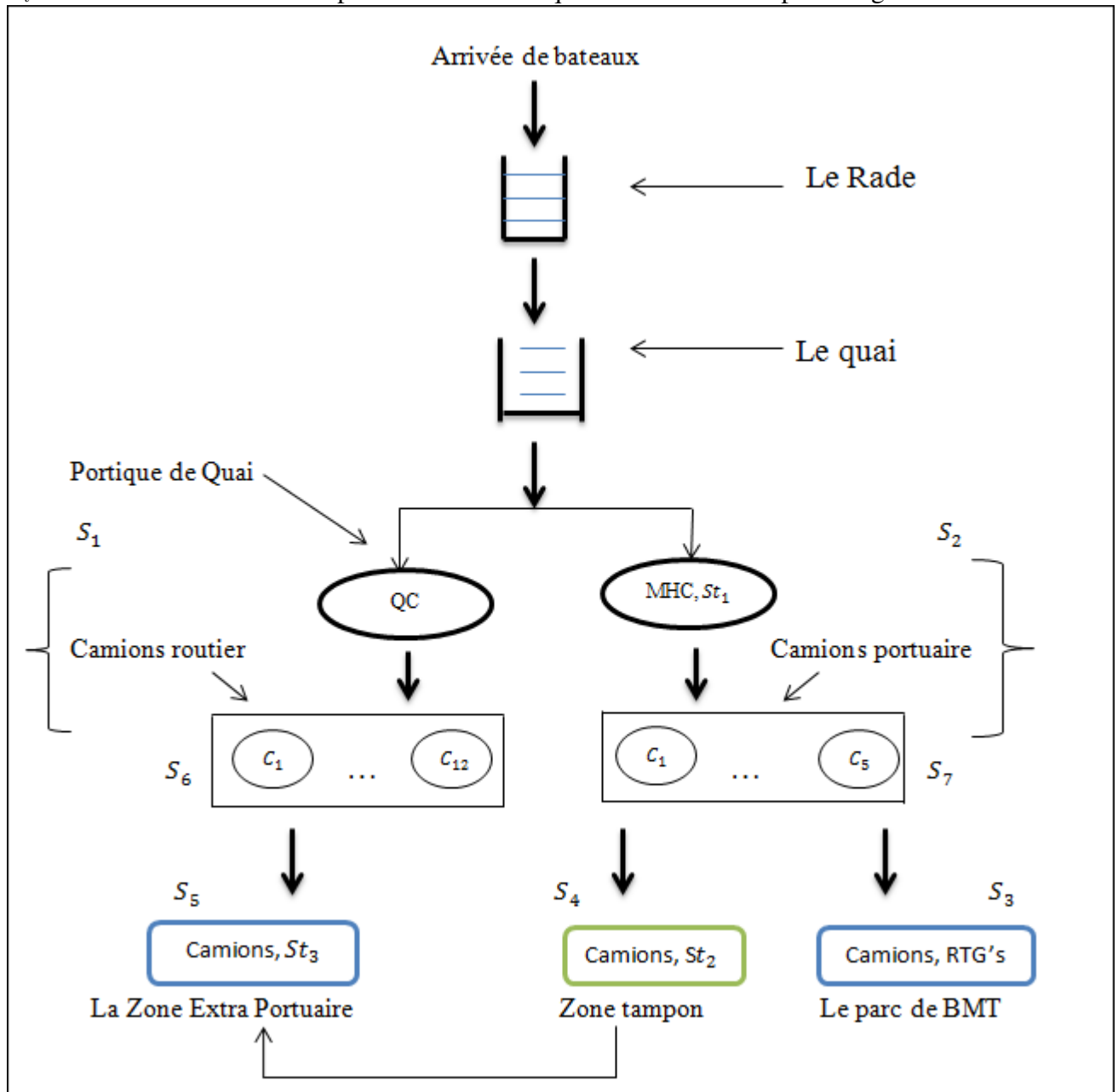
Cette station se compose de douze serveurs identiques disposés en parallèle de type $G/G/1/1$, les serveurs étant les camions remorqueurs routiers qui font des rotations entre le port et la ZEP-plein.

Station 7 :

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

10.2.3 Le processus de débarquement

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



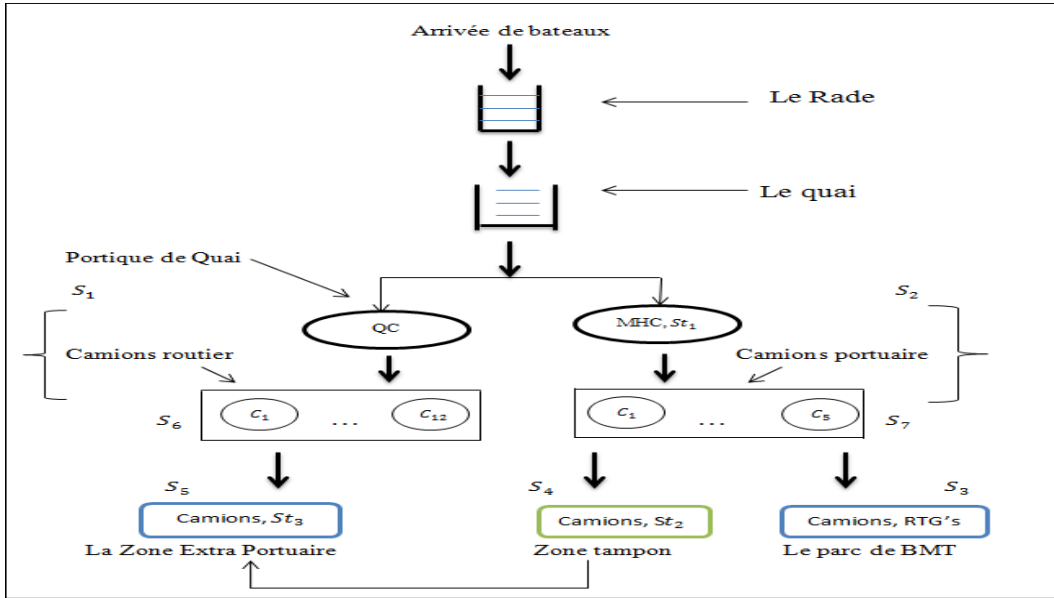


FIGURE 10.1. Le modèle du processus de débarquement

Identification des lois des processus intervenants

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

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

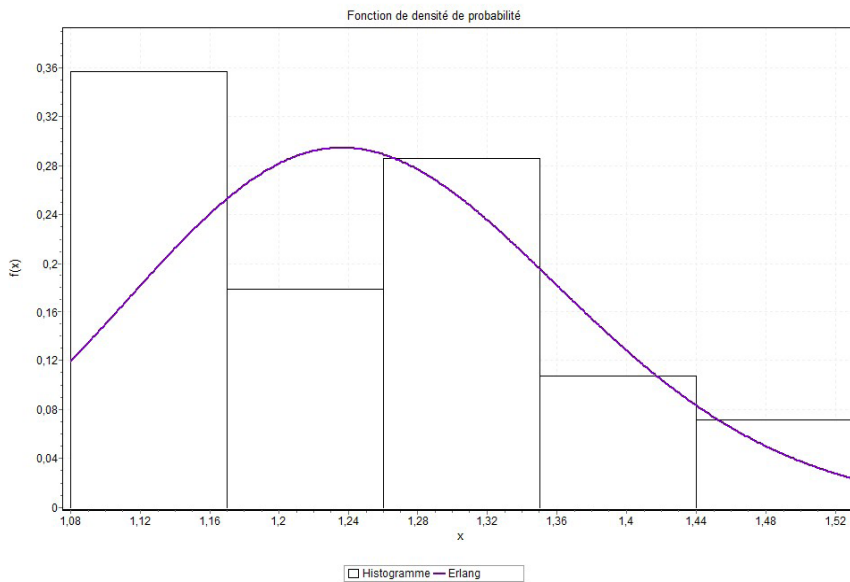


FIGURE 10.2. Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des stackers pour charger un conteneur

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

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

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

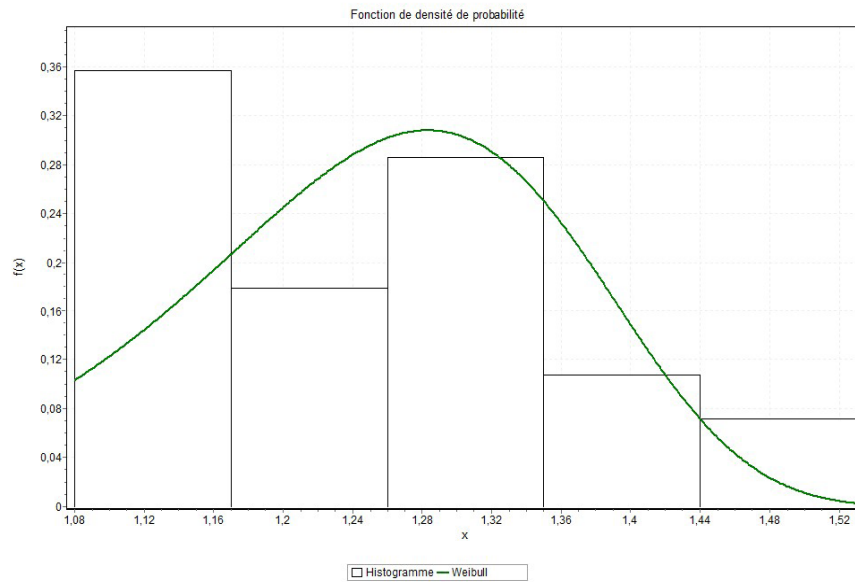


FIGURE 10.3. Histogramme et Courbe de densité de la loi du service des steackers pour décharger un conteneur

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

5.4.3 Identification de la loi de service de la grue

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

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

Identification de la loi de service du QC

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

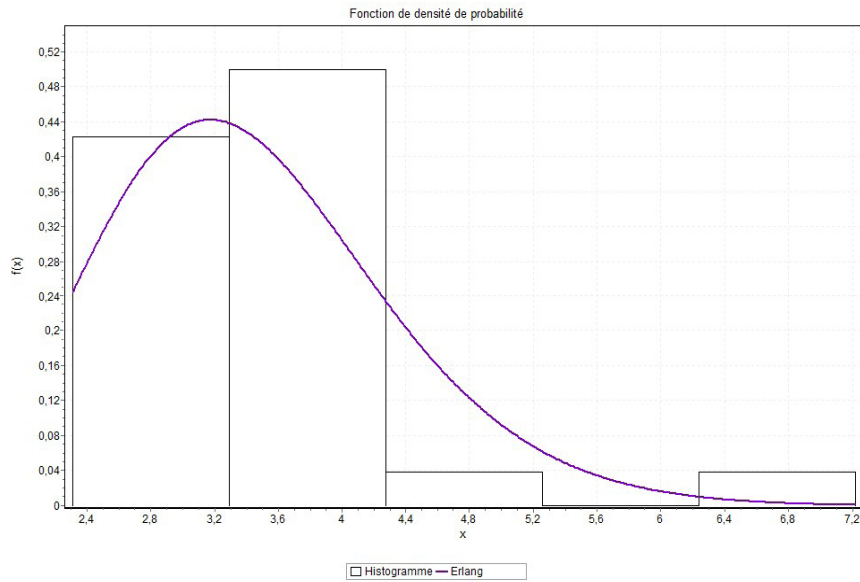


FIGURE 10.4. Histogramme et Courbe de densité de la loi du service de la grue au débarquement

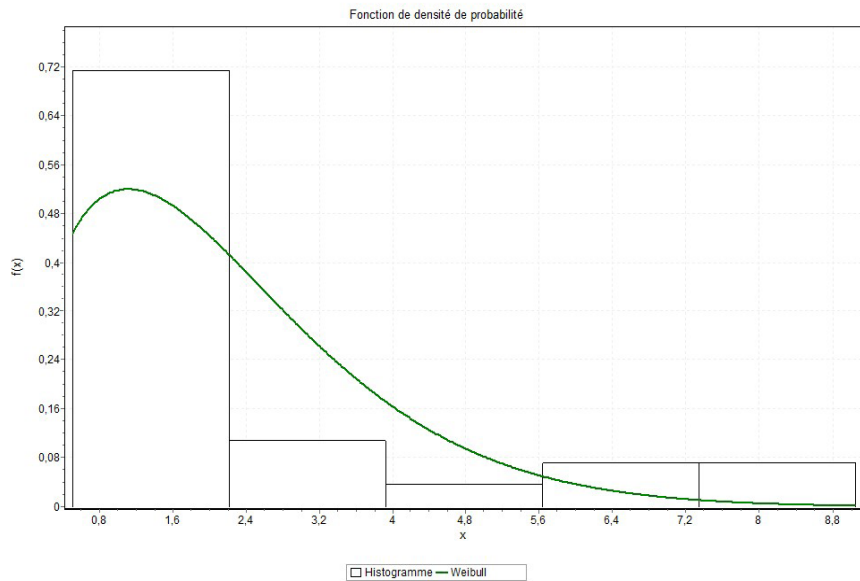


FIGURE 10.5. Histogramme et Courbe de densité de la loi des durées de service du QC au débarquement

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

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

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

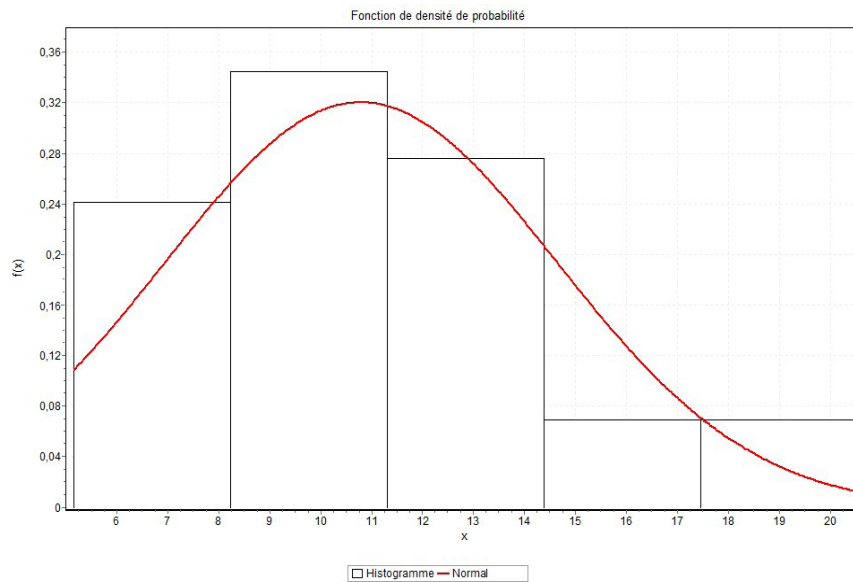


FIGURE 10.6. Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers le parc de stockage

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

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

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

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

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

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

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

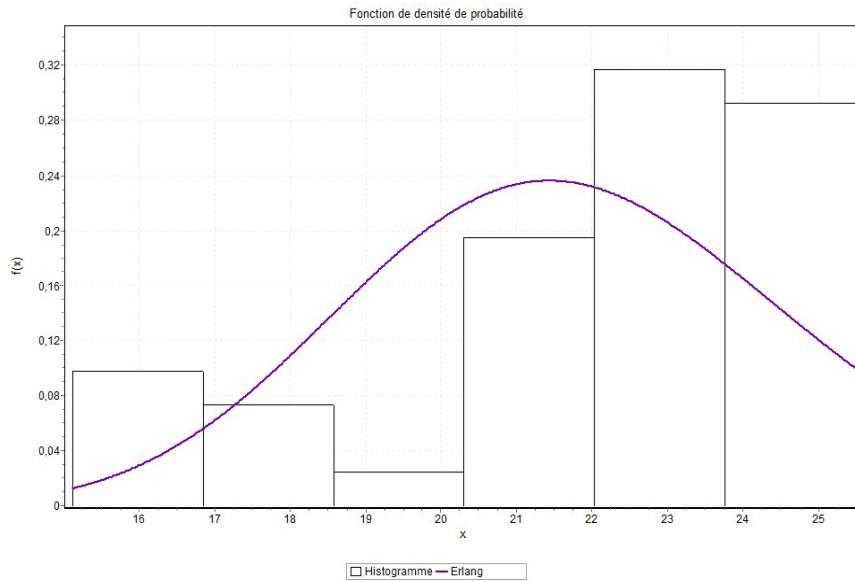


FIGURE 10.7. Histogramme et Courbe de la loi de service des camions portuaires pour transporter un conteneur vers la Zone Tampon

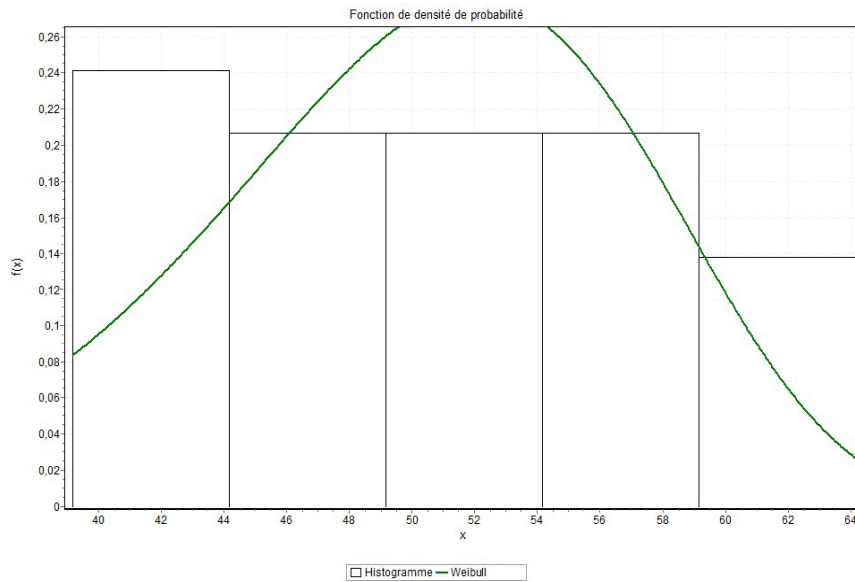


FIGURE 10.8. Histogramme et Courbe de la loi de service des camions routiers pour transporter un conteneur vers la Zone Extra Portuaire (Plein)

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

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

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

Durée moyenne d'une rotation :

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

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

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

Nombre des EVP transportés vers la ZEP/mois :

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

Flot des inter-arrivées des EVP à la ZEP :

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

Résultats numériques :

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

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

Interprétation des Résultats Numériques

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

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

10.2.5 Résultats de simulation en cas de variation des paramètres :

Augmentation du trafic

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

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivantes :

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivantes :

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

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

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

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

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

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

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

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

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

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

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

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

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

Variation des TCs de la Zone Extra Portuaire

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

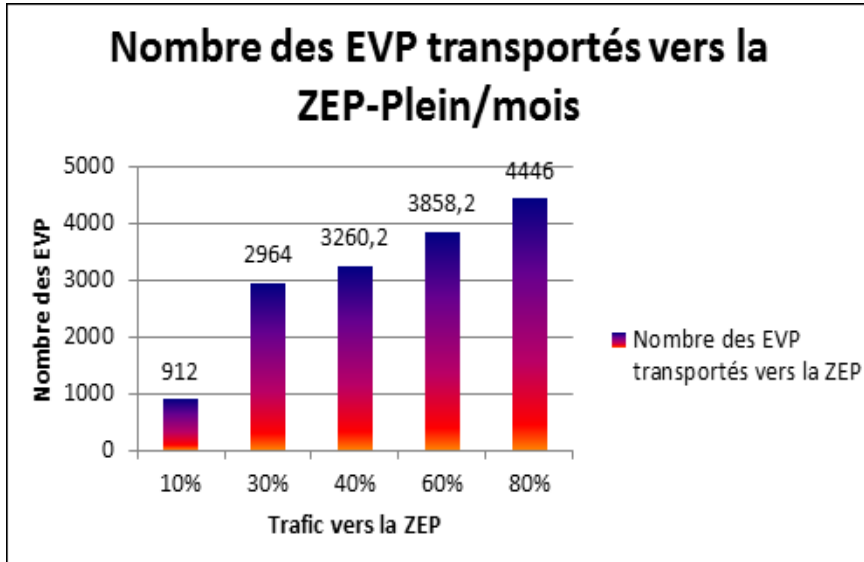


FIGURE 10.9. Variation des TCs de la Zone Extra Portuaire

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

La variation du taux de saturation du parc

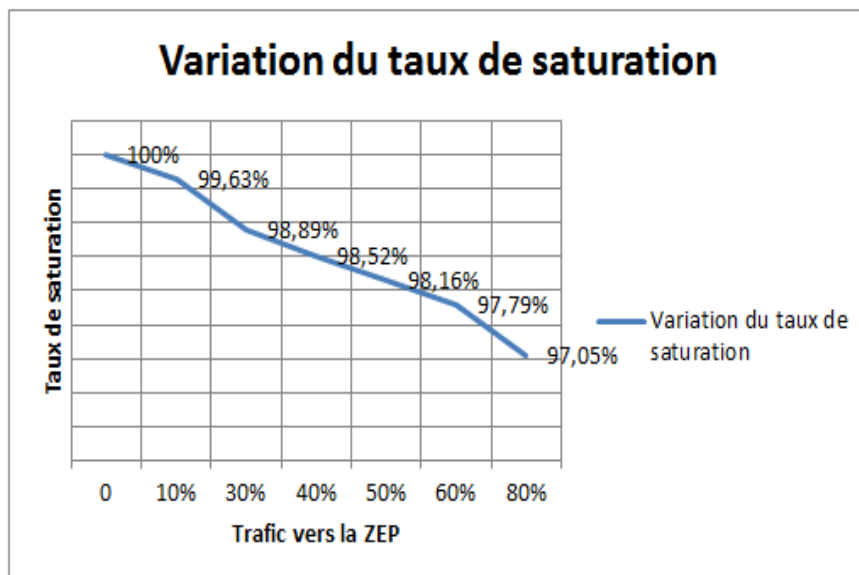


FIGURE 10.10. La variation du taux de saturation du parc

Interprétation :

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

Variations du nombres des camions routiers

Cas 1 : avec 15 Camions routiers

Les résultats obtenus sont comme suit :

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

Cas 2 : avec 20 Camions routiers

Les résultats obtenus sont comme suit :

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

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

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

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

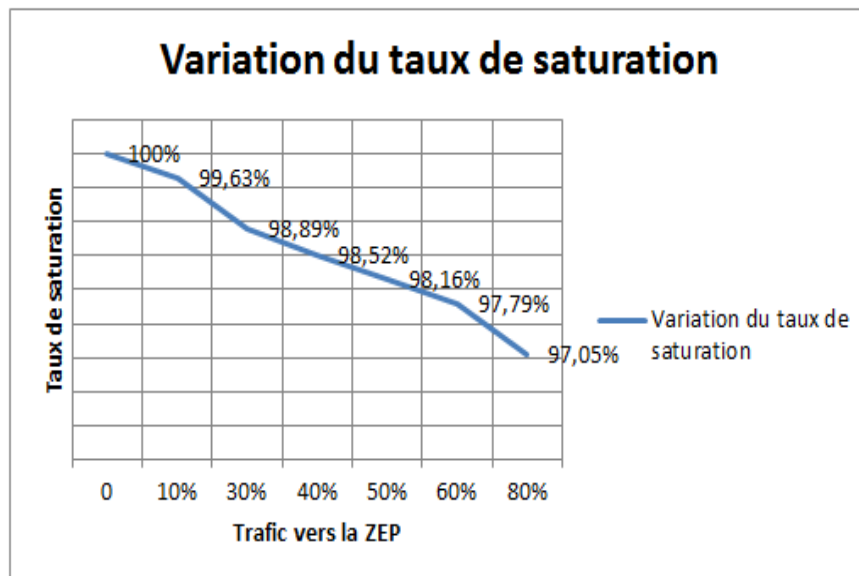


FIGURE 10.11. La variation du taux de saturation du parc

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

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

Les résultats obtenus sont résumés la 10.12 :

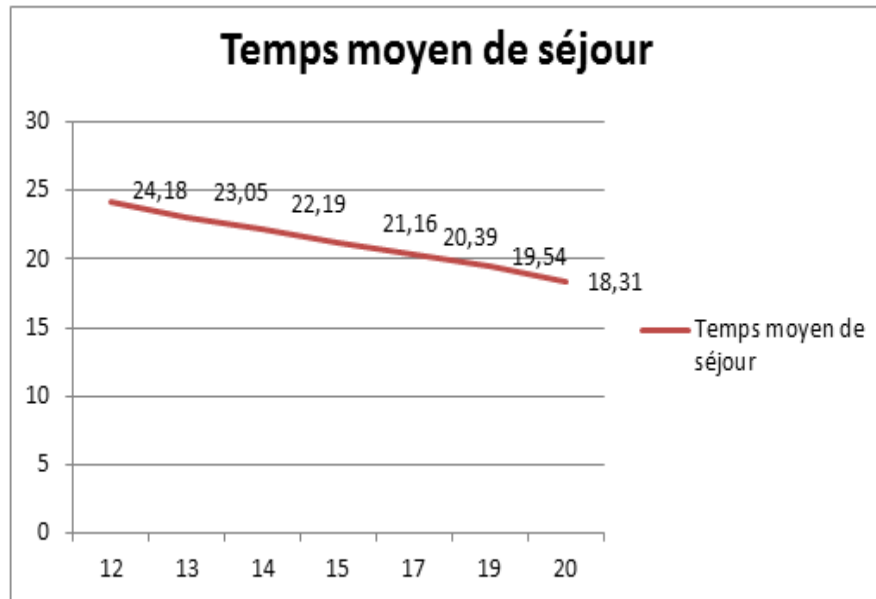


FIGURE 10.12. Temps moyen de séjour d'un navire en fonction du nombre des camions routiers

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

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

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

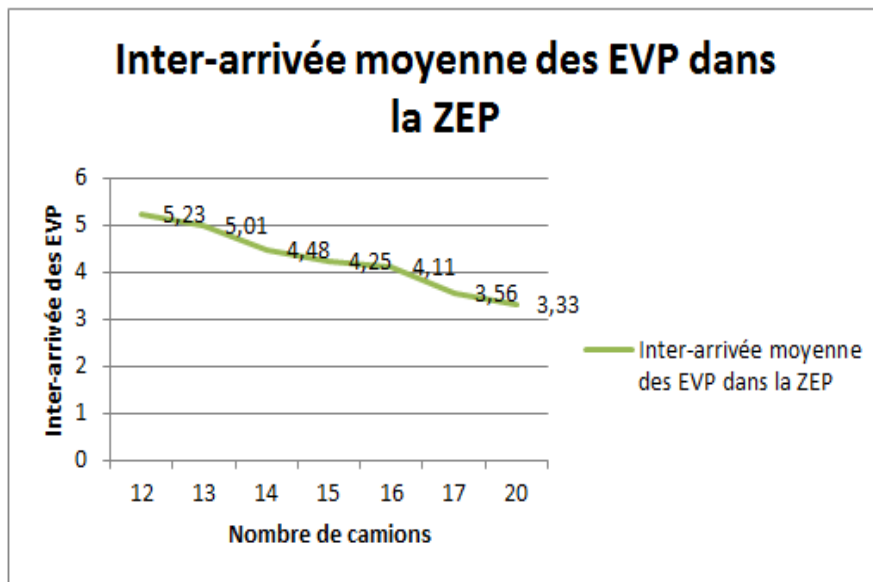


FIGURE 10.13. Durrée moyenne des inter-arrivées des EVP à la ZEP

10.3 Conclusion

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

Références

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

Index des Auteurs

Index

Aïssani D., 11, 20, 33, 52, 65, 77, 99, 108, 123, 139

Adel-Aïssanou K., 65

Aidli A., 11

Anzi A., 20, 77

Aoudia Z., 99

Arkoub T., 65

Bouallouche-Medjkoune L., 123

Boudjadja C., 108

Bouraine M., 77

Boussouira H., 33

Chachoua L., 33

Chahboune S., 20

Cherfaoui L., 65

Dehdouh A., 123

Drizi F., 123

Hammou R., 20

Kadri S., 99

Kartout K., 99

Kennouche A., 52

Makhloufi S., 108

Mammasse N., 52

Mebarki S., 139

Medjoudj R., 11

Omar Maïga A., 11

Outamazirt A., 123

Rahmoune F., 139

Saigh S., 52

Touche N., 77

Zitouni M., 139

LaMOS Edition, 2022.

« Mathématiques industrielles 2 : Retour d'expérience, fiabilité et maintenance, Ordonnancement et gestion des projets, Evaluation des Performances »

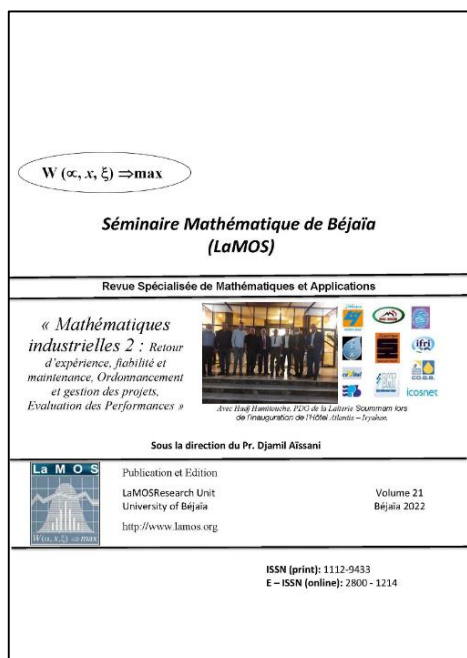
L'ouvrage :

Ce volume (numéro 21, 2022) est le troisième d'une trilogie que nous consacrons aux applications des *Méthodes et des Outils de la Recherche Opérationnelle aux entreprises industrielles et aux organismes socio-économiques*. Il regroupe onze articles qui concernent les rubriques suivantes : *Retour d'expérience, fiabilité et maintenance* » (Sonelgaz, Mac Soum, Edemia – ADE, Sonatrach et COGB), « *Ordonnancement et gestion des projets* » (IFRI, Sonatrach) et « *Evaluation des Performances* » (ICOSNET, Cevital, BMT). Rappelons que le deuxième volume (numéro 20, 2021) avait regroupé dix articles qui concernaient : « *gestion de la production* » (Danone - Djurdjura, Candia – Tchén Lait, Meriplast), « *planification et optimisation de la distribution* » (SDE-Sonelgaz, Ministère de l'Agriculture, Cevital), « *coût et restructuration tarifaire* » (EPB – Port de Béjaïa), et enfin « *gestion des stocks* » (Sonatrach, Danone – Djurdjura, IFRI).

Quant au premier volume (numéro 18, 2020), il avait consacré la première partie du contenu (05 articles sur 11) aux applications aux *systèmes de santé* (Hôpital Khelil Amrane, CHU Béjaïa, Cabinet Privé, Urgences de Kherrata et EPB – Port de Béjaïa).

Mots clés : Retour d'expérience, fiabilité et maintenance, Ordonnancement et gestion des projets, Evaluation des Performances

Séminaire Mathématique de Bejaia (LaMOS). ISSN (print): 1112 – 9433. E – ISSN (online): 2800 – 1214.



Le premier exposé à Bejaia a été présenté en 1987 par Rachid Senoussi (alors enseignant à l'Université de Constantine), à l'époque du projet de création de l'Unité de Recherche en Statistiques Appliquées (1985). Le Séminaire a atteint son rythme de croisière en 1991/1992, après la création du Département des Sciences Exactes (22 exposés programmés). Depuis 1995, il est lié à la Post-Graduation "Modélisation Mathématique et Techniques de Décision" (cf. Bulletin de la **S.M.A.I. Société Française de Mathématiques Appliquées et Industrielles** N°49, 1997, pp. 50).

La trilogie initiée par la revue « *Séminaire Mathématiques de Béjaïa (LaMOS)* », à savoir les 03 volumes 18, 20 et 21 est liée à la parution du livre – synthèse «*Mathématiques industrielles*» (LaMOS Editions, décembre 2022, 750 pages. ISBN : 978–9931–884–14–9.), qui présente, de manière structurée, 160 problèmes posés au niveau de 60 entreprises industrielles et organismes socio-économiques et résolus en appliquant les *Méthodes et les Outils de la Recherche Opérationnelle*.

Pour citer ce volume : Revue « *Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS)* » (Retour d'expérience, fiabilité et maintenance, Ordonnancement et gestion des projets, Evaluation des Performances), Volume 21, 2022, 161 pages. ISSN (print): 1112 – 9433. E – ISSN (online): 2800 – 1214.

ISSN (print): 1112 – 9433

E – ISSN (online): 2800 – 1214