

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

Mémoire de Master

en Mathématique Appliquée

Option

Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances des Réseaux



Thème

**Optimisation de la Maintenance Préventive des
turbopompes TP01 et TP02 au Niveau de la Station de
pompage SP1Bis**

Réalisé par : Talbi Fatteh

Devant le Jury Composé de :

<i>Président :</i>	Mohamed	Tounsi	MCB
<i>Rapporteur :</i>	Djamil	Aissani	Professeur
<i>Co-Rapporteur :</i>	Bachir	Cherfaoui	Docteur
<i>Examinatrice :</i>	Aicha	Anzi	MCA
<i>Examinatrice :</i>	Salima	Kendi	MCB

Septembre 2022

Remerciements

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

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

Nos vifs remerciements à Mr le Docteur B. Cherfaoui notre Co-promoteur, pour sa qualité d'encadrement, sa disponibilité, son soutien et ses orientations durant la réalisation de cette étude

Nos vifs remerciements sont également adressés à Mr D.Chelouah chef du service méthode au sein de la DRGB, pour son accueil chaleureux, son écoute et ses conseils pertinents ainsi pour toute l'aide qu'il nous a prodigué.

Nous exprimons notre grand respect aux honorables membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail

Nous remercions vont à tous ceux qui ont contribué de près comme de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- A mes très chers parents.
- Mes frères.
- Ma soeur.
- Tous mes amis.

Table des matières

Introduction générale	8
1 Transport Par Canalisation de Brut de la RTC Bejaia	11
1.1 Présentation de l'entreprise	11
1.1.1 Historique de sonatrach	11
1.2 Principales activités de la Sonatrach	11
1.2.1 Activité Amont	11
1.2.2 Activité Aval	12
1.2.3 Activité transport par canalisations	12
1.2.4 Activité commercialisation	12
1.3 La Direction régionale de Béjaia (DRGB)	12
1.4 Situation géographique	12
1.5 Description de l'oléoduc HEH/Béjaia	12
1.6 Description des stations de pompage	13
1.6.1 La station de pompage de Haoudh El Hamra SP1	13
1.6.2 Station de pompage SP1 bis	13
1.6.3 Station de pompage SP2	14
1.6.4 Station de pompage SP3	14
1.6.5 Station de pompage de Béni Mansour SBM	14
1.7 Description du Département Maintenance	15
1.7.1 Service Mécanique	15
1.7.2 Service Électricité	15
1.7.3 Service Instrumentation	15
1.7.4 Service Télécommunication	15
1.7.5 Service Méthode	15
1.8 Politique de Maintenance Préventive adoptée par l'entreprise	16
1.9 Position du problème	16
2 Principaux concepts de la fiabilité	17
2.1 Introduction	17
2.2 Définition	17
2.3 Fonctions statistiques utilisées en fiabilité	17
2.3.1 Fonction de fiabilité	17
2.3.2 Fonction de répartition	17
2.3.3 Densité de défaillance	18
2.3.4 Taux de défaillance	18
2.3.5 Temps moyenne entre les défaillances MTBF	18
2.4 Lois de probabilité usuelles utilisées en fiabilité	19
2.4.1 La loi exponentielle	19
2.4.2 Loi de Weibull	19

2.5	Méthode d'estimation paramétrique	21
2.5.1	La méthode de maximum de vraisemblance	21
2.5.2	Estimation les paramètres des lois par la méthode de vraisemblance .	21
2.6	Le test d'adéquation	24
2.6.1	Les différents types de tests d'adéquation	24
2.7	Conclusion	25
3	Généralités sur la maintenance et ses politiques	27
3.1	Introduction	27
3.2	Contexte général de la maintenance	27
3.2.1	Définition de la maintenance	27
3.2.2	Le but de la maintenance	27
3.3	Les types de maintenance	27
3.3.1	La maintenance corrective	28
3.3.2	La maintenance préventive	28
3.4	Modélisation de l'efficacité de la maintenance	29
3.4.1	Les modèles de base	29
3.5	Principe de la maintenance imparfaite	31
3.6	Optimisation de la maintenance imparfaite	31
3.6.1	Modèle de réduction géométrique d'intnsité de défaillance	31
3.6.2	Modèle de réduction de l'âge virtuel	32
3.6.3	Modèle hybrides	34
3.7	Politique de maintenance préventive pour les système élémentaires	35
3.7.1	Politique de maintenance selon l'âge	35
3.7.2	Politique de maintenance en bloc	36
3.7.3	Politique de maintenance périodique imparfaite avec réparation mini- male	37
3.8	Optimisation de la maintenance	37
3.9	Conclusion	38
4	Optimisation de la périodicité de la maintenance préventive des torbopompes	
	TP01 et TP02	39
4.1	Introduction	39
4.2	Présentation de la station de pompage SP1Bis	39
4.3	Les données du temps d'intervention	39
4.3.1	Les données du temps d'intervention préventive	40
4.3.2	Les données d'intervention corrective	41
4.4	Estimation de la fiabilité	41
4.4.1	Estimation des paramètres de la fonction d'intensité	41
4.5	Test d'ajustement	42
4.5.1	Hypothèse à tester	42
4.5.2	Test de Kolmogorov-Smirnov	42
4.6	Modèle de maintenance adopté par la RTC	42
4.7	Estimation des coûts	42
4.7.1	Estimation des coûts de la révision générale	43
4.7.2	Estimation du coût de la maintenance corrective	43
4.8	Optimisation	43
4.8.1	Optimisation de la fonction objectif	43
4.8.2	Procédure de l'optimisation	45
4.9	Résultats de l'optimisation	46

<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	7
4.9.1 Interprétation des Résultats	46
4.10 Conclusion	47
Conclusion générale	47

Introduction générale

La Société Nationale Algérienne Sonatrach détient en Algérie le monopole dans le domaine des hydrocarbures. Le prix du pétrole n'est pas stable, ce qui oblige l'entreprise Sonatrach à être plus concurrentielle et plus réactive à ces variations. Il devient nécessaire de gérer au mieux les équipements de production dont les prestations sont étroitement liées au processus de maintenance.

La fiabilité est apparue avec l'émergence des outils utilisés par l'homme, mais dans les années quarante les premiers modèles sont apparus. Face à une complexité croissante des systèmes industriels, l'idée est qu'il est plus raisonnable de maintenir des équipements fiables au lieu d'attendre la réparation après une panne. Par conséquent, les arrêts imprévus sont coûteux pour l'entreprise, d'où l'importance à accorder aux problèmes de sûreté et de sécurité.

Dans ce contexte, l'optimisation de la maintenance joue un rôle très important pour la sûreté et la productivité des entreprises. Ainsi, de nombreux travaux proposent des modèles mathématiques permettant de définir la politique de maintenance optimale à adopter.

L'activité de transport de carburants par canalisations entraîne des coûts élevés pour Sonatrach, car ce type d'activité nécessite un grand nombre d'équipements et de moyens de transport et une maintenance continue. Afin de donner l'énergie nécessaire au brut pour achever son parcours à travers l'oléoduc HEH/Béjaia, 04 stations de pompage furent installées SP1, SP1(bis), SP2 et SP3. Nous nous intéressons à la station de pompage SP1Bis d'El Oued. A ce niveau, la maintenance préventive appliquée sur les turbines TP01 et TP02 doit se faire chaque 32000h.

Dans ce mémoire, nous réalisons une étude qui nous permet de trouver une périodicité optimale des révisions générales, afin de minimiser les coûts de maintenance. Il s'agit donc d'optimiser la périodicité des révisions générales des turbopompes TP01 et TP02.

Le mémoire est organisé comme suit :

Après une introduction où nous exposons la problématique, nous trouverons les quatre chapitres suivants :

Le chapitre 1 de ce document est destiné à présenter l'entreprise Sonatrach.

Dans le chapitre 2, nous décrivons la fiabilité et ses notions de base.

Dans le chapitre 3, nous décrivons la notion de maintenance et son objectif, ainsi que les différents types de maintenance et les modèles d'efficacité de maintenance. De même, nous présentons les différentes politiques de maintenance préventive périodique imparfaite avec

réparation minimale à la défaillance.

Le chapitre 4, concerne l'application de notre démarche d'optimiser la périodicité de la maintenance préventive qui s'applique aux turbopompes TP01 TP02 de la station de pompage SP1Bis.

Enfin, nous achèverons notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre 1

Transport Par Canalisation de Brut de la RTC Bejaia

Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'entreprise Sonatrach et ses différentes structures et activités. Puis nous allons définir la localisation géographique de la région du transport RTC Bejaia et les différentes stations de pompages qui fonctionnent pour pomper le pétrole à travers les pipelines vers la destination RTC Bejaia. A la fin de ce chapitre, nous exposons la position du problème.

1.1 Présentation de l'entreprise

1.1.1 Historique de sonatrach

Sonatrach, Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures a été créée en 1963 pour être l'instrument de l'Etat dans le secteur pétrolier à côté des compagnies françaises de pétrole. Elle avait pour but, le transport et la commercialisation des produits pétroliers jusqu'à 1966 où elle a diversifié ses activités à l'ensemble des secteurs : recherche, exploitation, production, transformation, transport et commercialisation des hydrocarbures [8].

Sa restructuration en 1981 lui a permis de créer de nouvelles entreprises (Naftal, Enac...), afin d'élargir son secteur d'activité et de donner une meilleure maîtrise à la gestion de l'entreprise pétrolière [8].

1.2 Principales activités de la Sonatrach

1.2.1 Activité Amont

- Exploitation.
- Recherches et développement
- Production.
- Forage.
- Engineering et construction.

- Associations en partenariat.

1.2.2 Activité Aval

- Liquéfaction du gaz naturel.
- Séparation des GPL.
- Raffinage du pétrole.
- Etude et développement de nouvelles technologies [8].

1.2.3 Activité transport par canalisations

- Stockage d'hydrocarbures liquides en amont et en aval.
- Transport par canalisation d'hydrocarbures liquides gazeux, depuis les lieux de la production primaire, à travers le réseau secondaire et principal.
- Le chargement des navires pétroliers [8].

1.2.4 Activité commercialisation

- Commercialisation extérieure.
- Commercialisation sur le marché intérieur.
- Transport maritime des hydrocarbures.

1.3 La Direction régionale de Béjaia (DRGB)

Activité Transport par Canalisation (ATPC) : est l'une des plus importantes branches de la Sonatrach. Elle se charge de l'acheminement des hydrocarbures des forages, situés au sud du pays, vers les terminaux marins pour l'exploitation, ou vers les usines de liquéfaction, à travers un réseau de pipe lines [8]. Elle est constituée de cinq directions régionales, dont la direction régionale de Béjaia (DRGB) qui a pour tâche le transport, le stockage la livraison de trois types de produit :

- Le pétrole brut.
- Le condensât.
- Le gaz.

1.4 Situation géographique

La DRGB est située à 2 Km au sud-ouest de la ville de Béjaia, elle est divisée en deux parcs de stockage (nord et sud) elle comprend également le port pétrolier qui se trouve à environ 8 Km nord de cette dernière, ou se trouve un autre parc de stockage. Elle a aussi sous sa direction des stations de pompage qui ont pour rôle d'aspirer et de pomper les produits de la source vers la raffinerie d'Alger et vers le Terminal de Béjaia. La DRGB est organisée de façon hiérarchique afin de mener à bien les tâches et limiter la responsabilité [8].

1.5 Description de l'oléoduc HEH/Béjaia

L'oléoduc HEH/Béjaia le 1^{er} pipe-line installé en Algérie, par la société de gérance (sopég) fondée le 12 mars 1957, par la compagnie française du pétrole CFP et la société nationale de recherche et d'exploitation du pétrole en Algérie (sonerepal). En effet, c'est vers

la mi-novembre 1958, que la 1^{er} soudure en ligne a été exécutée. Le début d'exploitation et le premier à destination de l'Europe, chargé en décembre, du port de Béjaia. Afin d'offrir, l'énergie nécessaire au brut pour accomplir son parcours HEH/Béjaia, quatre stations furent installées SP1, SP1 bis, SP2, SP3 [8].

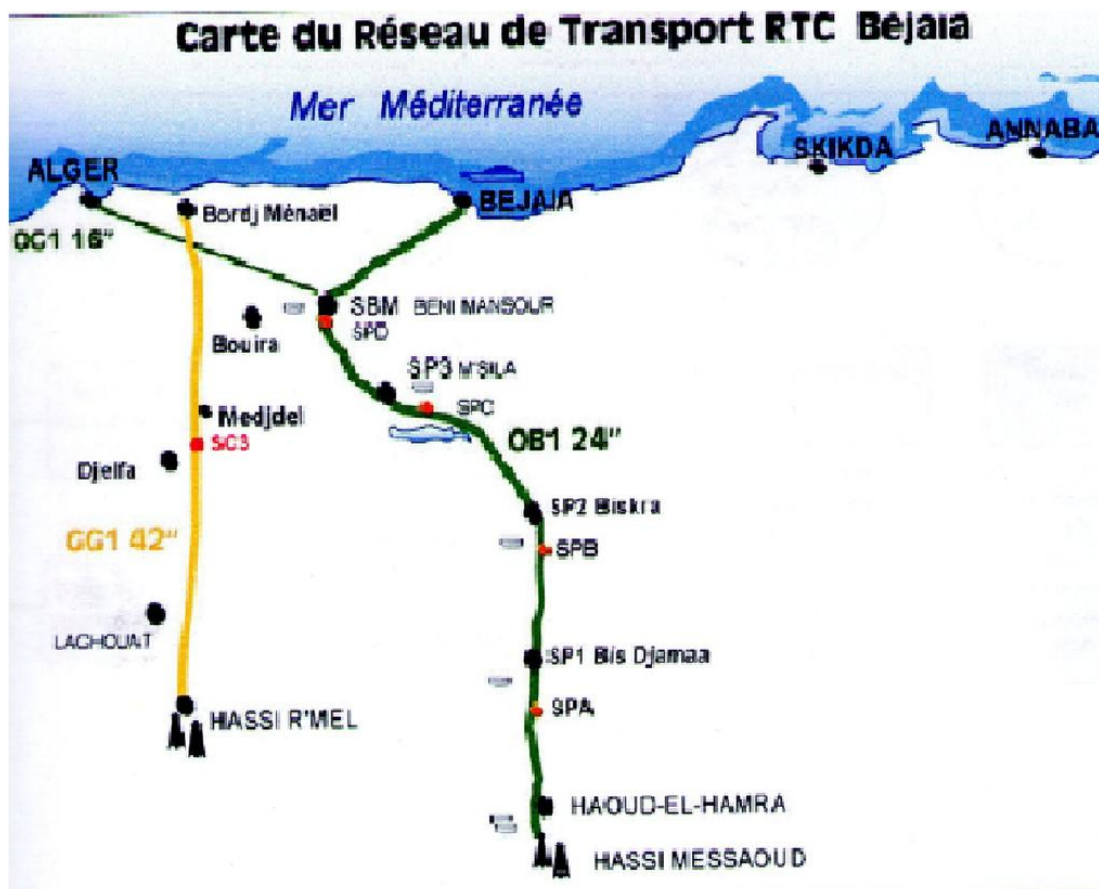


FIGURE 1.1 – L'oléoduc HEH/BEJAIA

1.6 Description des stations de pompage

1.6.1 La station de pompage de Haoudh El Hamra SP1

C'est la station de départ. Elle dispose de :

- 5 GEP (groupe électropompe).
- 7 bacs de stockage d'une capacité de 35000 m^3 chacun et d'un stock 6000 m^3 .
- 1 Bac de purge 2900 m^3 [8].

1.6.2 Station de pompage SP1 bis

Cette station est située à 90 km de Nord-Ouest de Tougourt [8]. Elle est composée de :

- Trois unités de pompage principales.
- Sept unités électrogènes principales.
- Deux bacs à trois coniques de 450 m^3

1.6.3 Station de pompage SP2

Cette station est située à 18 KM nord-ouest de Biskra. Elle est équipée de cinq groupes électropompes (GEP) montés en série et elle est composée de :

- Cinq unités de pompage principales.
- Trois unités électrogènes principales.
- Deux bacs à trois coniques de $11 m^3$.
- Un bac à trois coniques de $2900 m^3$.
- Deux bacs tampons à toit flottant de $8750 m^3$.
- un bac de purge de $10 m^3$ [8].

1.6.4 Station de pompage SP3

Cette station de pompage est située à proximité de M'sila. Elle est équipée de cinq électropompes (GEP) montés en parallèle [8].

Cette station comprend :

- Cinq unités de pompage principales.
- Trois unités électrogènes principales.
- Deux bacs à trois coniques de $110 m^3$.
- Un bac à trois coniques de $2900 m^3$.
- Un bac de purge de $10 m^3$.
- Deux bacs tampons à toit flottant de $8750 m^3$.

1.6.5 Station de pompage de Béni Mansour SBM

La station de Béni Mansour, ou station de tête comprend les installations de réception et d'expédition du brut et condensât, à savoir deux réservoirs de stockage de $12000 m^3$ [8]. La pomperie principale se compose de deux groupes électropompes (GEP(A),GEP(B)). L'exploitation de la station présente de trois formes distinctes, à savoir :

- Réception de produit brut en provenance de Haoudh El Hamra vers le port pétrolier de Béjaia et la raffinerie d'Alger.
- Réception de condensât de même provenance vers le terminal de Béjaia .
- Stockage de brut dans deux bacs par la pomperie d'injection et dosage de produit en le dirigeant sur l'aspiration des pompes principales.

1.7 Description du Département Maintenance

Le département maintenance est chargé d'entretenir la ligne transportant les produits de la source (puits de forage) vers le port pétrolier de Béjaïa, ainsi que les équipements [8]. Ce département comprend cinq services différents :

1.7.1 Service Mécanique

Il a pour tâche l'exécution des travaux de la maintenance mécanique des machines tournantes (pompes, moteur...), ainsi que les travaux sur machines outils [8].

1.7.2 Service Électricité

Prend en charge les travaux de maintenance électrique .

1.7.3 Service Instrumentation

Assure l'exécution des travaux de maintenance concernant l'instrumentation et la régulation .

1.7.4 Service Télécommunication

Il s'occupe de la maintenance du matériel de communication tel que les radios fixes ou mobiles, radars, réseaux téléphonique...

1.7.5 Service Méthode

Il assure la préparation, la planification et le lancement des interventions de maintenance, estime les coûts, et tient à jour les fichiers historiques des équipements [8].

1.8 Politique de Maintenance Préventive adoptée par l'entreprise

Suivant la politique de maintenance appliquée par l'entreprise, le système reçoit deux types de maintenance préventive [8].

- Une Maintenance Préventive périodique / 4000 heures : Graissage, vidange, changement des filtres à l'huile.
- une Maintenance Préventive/ 32000 heures (Révision Générale) [8].

1.9 Position du problème

L'activité de transport de carburants par canalisations entraîne des coûts élevés sur Sonatrach, car ce type d'activité nécessite un grand nombre d'équipements et de moyens de transport et une maintenance continue. Nous allons réaliser une étude qui nous permet de trouver une périodicité optimale des révisions générales, afin de minimiser les coûts de maintenance. L'objectif de notre travail est donc d'optimiser la périodicité des révisions générales des turbopompes TP01 et TP02 de la station de pompage SP1Bis d'El Oued, de l'oléoduc Haoud al-Hamra-Béjaia.

Chapitre 2

Principaux concepts de la fiabilité

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous rappellerons certaines notions de fiabilité. Nous allons introduire différents concepts de base et lois de fiabilité, du taux de défaillance souvent utilisées pour estimer la fiabilité d'un équipement.

Lorsque les données de défaillances sont manquantes, cas des équipements neufs, dans ce cas l'estimation du taux de défaillance par la méthode de maximum de vraisemblance est biais. Pour savoir si les modèles seront validés, en s'appuyant sur certains tests qui sont appelés les tests d'adéquation (le test de Khi-deux et le test de Kolmogorov-Smirnov)

2.2 Définition

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

2.3 Fonctions statistiques utilisées en fiabilité

Le temps de la panne d'un équipement est incertain et possède un caractère aléatoire. On appelle la variable aléatoire T une variable, de sorte qu'à chaque valeur t de T , on puisse associer une probabilité d'une panne. La corrélation entre cette variable aléatoire et la probabilité qui lui est associée établit une loi de probabilité [2].

2.3.1 Fonction de fiabilité

La fiabilité à l'instant t correspond à la probabilité que le système ne tombe pas en panne pendant sa durée de vie T . En d'autres termes, c'est la probabilité de marche sans défaillance en cours de la période $[0, T]$ [2]. La fonction de fiabilité notée $R(t)$ peut s'écrire comme suit :

$$R(t) = P(T > t) = 1 - p(T < t) = 1 - F(t) \quad (2.1)$$

2.3.2 Fonction de répartition

La fonction de répartition $F(t)$ représente la probabilité d'avoir au moins une panne en cours de la période $[0, T]$ [2].

$$F(t) = 1 - R(t) = p(T < t) \quad (2.2)$$

2.3.3 Densité de défaillance

La fonction de densité de probabilité, notée $f(t)$, représente la probabilité de défaillance d'un dispositif à l'instant t [1]. Peut s'exprimer comme suit :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.3)$$

2.3.4 Taux de défaillance

Le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ représente la probabilité de défaillance par unité de temps [18].

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{R(t).dt} \quad (2.4)$$

2.3.5 Temps moyenne entre les défaillances MTBF

Le temps moyen entre les défaillances souvent appelé MTBF (de l'anglais Mean Time Between Failure), est l'une des valeurs qui indiquent la fiabilité d'un composant, d'un produit ou d'un système. [2].

$$MTBF = MDT + MUT \quad (2.5)$$

MDT : Mean Down Time (Durée moyenne d'indisponibilité)

MUT : Mean Up time (Durée moyenne de fonctionnement après réparation)

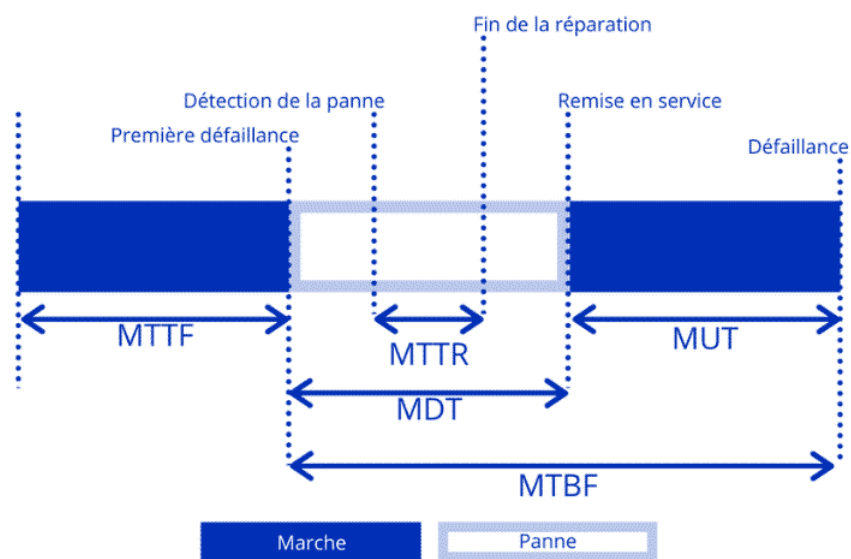


FIGURE 2.1 – Le temps moyen entre les défaillances MTBF

2.4 Lois de probabilité usuelles utilisées en fiabilité

Nous présentons certaines des distributions de vie les plus courantes dans l'analyse des données de vie, qui sont courantes dans plusieurs disciplines. Les lois de fiabilité utilisées en fiabilité sont la loi Exponentielle et la loi de Weibull.

2.4.1 La loi exponentielle

Une variable aléatoire T qui représente la durée de vie d'un équipement suit la loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$, notée $\exp(\lambda)$, si et seulement si sa fonction de répartition est [3] :

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (2.6)$$

— La fiabilité est $R(t) = 1 - F(t)$ d'où :

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.7)$$

— La densité est :

$$f(t) = F'(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (2.8)$$

— La durée moyenne de vie :

$$MUT = E[t] = \int_0^{+\infty} R(t) dx = \int_0^{+\infty} \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.9)$$

— Le taux de défaillance est :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda \exp(-\lambda t)}{\exp(-\lambda t)} = \lambda \quad (2.10)$$

Le taux de défaillance de la loi exponentielle donc est constant, cela signifie que le risque de panne est totalement aléatoire ; on a un système dit « sans effet de mémoire », sans usure, il n'y a pas de cumul de dommage. C'est typiquement la situation des systèmes électroniques. [16].

2.4.2 Loi de Weibull

La loi de Weibull est la loi de fiabilité la plus connue, elle est populaire car elle permet de modéliser de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle désigne le comportement du système dans les trois phases de vie (période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement), souvent elle est caractérisée par deux paramètres, le paramètre de forme β et le paramètre d'échelle η . Un troisième paramètre est parfois considéré, le paramètre de localisation γ [5, 15]. La loi de Weibull est caractérisée par :

— La fiabilité :

t : est la durée de bon fonctionnement.

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (2.11)$$

— La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \quad t > 0 \quad (2.12)$$

— Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.13)$$

— La durée moyenne de vie :

$$MUT = (\eta - \gamma) \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

Où Γ est la fonction Gamma d'Euler définie par :

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \exp(-t) dt$$

2.4.2.1 Signification des paramètres de la loi de Weibull

— Paramètre de forme :

On observe à travers des expériences et à partir de méthodes statistiques la courbe représentant cette fonction est «Baignoire» voir (Figure 2.2), la courbe change en trois périodes différentes et dépend de la valeur de β , le taux de défaillance est :

Si $\beta < 0$, donc la courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$ est décroissante avec le temps ce qui représente la période de jeunesse des équipement dans la courbe de baignoire.

Si $\beta=1$, donc la courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$ est constante avec le temps, ceci correspond à la période de vie utile

Si $\beta > 1$, la courbe de taux de défaillance λ croit durant le temps, ceci correspond à la période de vieillesse, il faut intervenir de manière préventive [4].

— Paramètre d'échelle η :

C'est un paramètre d'unité de temps, il est aussi appelé durée de vie caractéristique En effet, lorsque $t - \gamma = \eta$, alors $F(t) = 0.63$

— Paramètre de localisation γ :

Il est dans le même unité de temps. on peut le considérer nul ($\gamma = 0$) et la loi de Weibull devient à deux paramètre. deux cas peuvent être considérés :

- Si $\gamma < 0$, on peut dire que le système s'est dégradé avant d'être mis en service industriel.
- Si $\gamma > 0$, veut dire que le matériel n' a commencé à se dégrader qu'à la date $t = \gamma$.

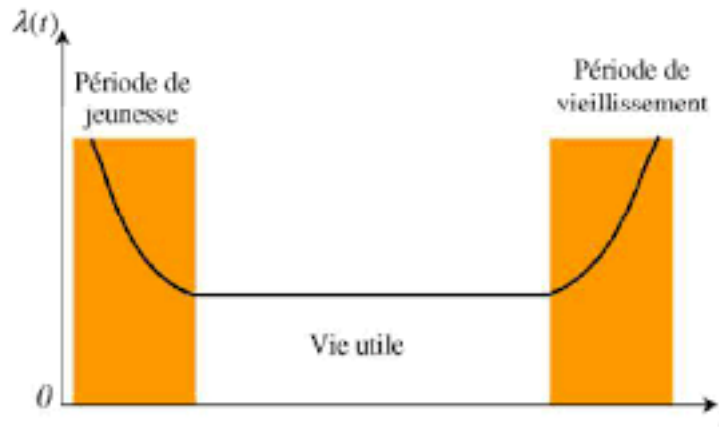


FIGURE 2.2 – La courbe baignoire

2.5 Méthode d'estimation paramétrique

2.5.1 La méthode de maximum de vraisemblance

Si la durée de vie d'un élément d'un système suit une distribution (Exponentielle, Weibull...) , avec un temps de défaillance répandu pour cet'élément, il est nécessaire pour estimer les paramètres liés à la distribution, parmi les méthodes plus utile pour effectuer l'estimation de ces paramètres c'est la méthode de maximum de vraisemblance.

Elles existent d'autres méthodes d'estimation comme la méthode moindre carrés principalement géométrique, n'utilise aucune spécificité probabiliste on a la méthode des moments plus servi, conduit à des estimateurs ayant moins de caractéristiques statistiques (biais) que ceux de la méthode du maximum de vraisemblance, passons en revue quelques critères les plus couramment liés au bon sens, qui permettent de comparer les estimateurs.

L'efficacité ou la précision être formé d'avoir un estimateur cohérent ça veut dire à mesure que la taille de l'échantillon augmente, la distribution d'échantillonnage de l'estimateur se concentre de plus en plus à la valeur réelle du paramètre. Alors nous observons la durée de vie d'un équipement dont la fonction de densité de probabilité est $f(x, \theta)$, la fonction de vraisemblance est :

$$L(x, \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta)$$

Donc l'estimateur de vraisemblance est :

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta \in \Theta} \quad (2.17)$$

2.5.2 Estimation des paramètres des lois par la méthode de vraisemblance

2.5.2.1 Estimation des paramètres de la loi exponentielle

Nous avons un échantillon de n données de temps de défaillance $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ suivent la loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$ [5]. La fonction de vraisemblance s'écrit :

$$L(\lambda; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = \lambda^n \exp\left(-\lambda \sum_{i=1}^n t_i\right) \quad (2.18)$$

avec : $\lambda > 0, t_i > 0, i = 1, \dots, n$. Nous avons la fonction de vraisemblance est strictement croissante, son maximum est celui de la fonction *log-vraisemblance*.

On peut donc écrire :

$$L(\lambda, t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = \ln(L(\lambda; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)) = n \ln(\lambda) - \lambda \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.19)$$

La dérivée de la fonction log-vraisemblance par rapport à λ s'écrit :

$$\frac{\partial l(\lambda; t)}{\partial \lambda} = \frac{n}{\lambda} - \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.20)$$

d'où :

$$\frac{n}{\lambda^*} - \sum_{i=1}^n t_i = 0 \Leftrightarrow \lambda^* = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.21)$$

de plus :

$$\frac{\partial^2 l(\lambda; t)}{\partial^2 \lambda} = -\frac{n}{\lambda^2} \quad (2.22)$$

2.5.2.2 Estimation des paramètres de la loi du Weibull

La fonction de densité de la loi de Weibull est :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (2.23)$$

Donc la vraisemblance pour $(t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_n)$ qui sont n-ième durée observé si on a les données complète avec la loi de Weibull à deux paramètres alors la fonction de vraisemblance [5] :

$$L(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n, \beta, \eta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \beta, \eta)$$

Donc :

$$L(t_1, t_2, t_3, \beta, \eta) = \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t_i}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t_i}{\eta}\right)^\beta\right] = \beta^n \left(\frac{1}{\eta}\right)^{n\beta} \prod_{i=1}^n t_i^{\beta-1} \exp\left(\left(\frac{t_i}{\eta}\right)^\beta\right)$$

Sachant que : $\beta, \eta, t_i > 0, i = 1, \dots, n$. La fonction de log vraisemblance est donné par :

$$\log L(\beta, \eta, t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = n \left(\frac{1}{\eta}\right) + n \ln(\beta) + \sum_{i=1}^n (\beta - 1) \ln(t_i) - \left(\frac{1}{\eta}\right)^\beta \sum_{i=1}^n t_i^\beta \quad (2.26)$$

Pour trouver les estimateurs par la méthode MLE, on doit résoudre le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \frac{\partial \ln L(\theta; t)}{\partial \eta} = \sum_{i=1}^n \left(\beta \eta - \left(\frac{\beta}{\eta^{\beta-1}} \right) t_i^\beta \right) = 0 \\ \frac{\partial \ln L(\theta; t)}{\partial \beta} = n \ln \left(\frac{1}{\eta} \right) + n \eta + \sum_{i=1}^n \ln(t_i) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{\eta} \right)^\beta \ln \left(\frac{t_i}{\eta} \right) = 0 \end{cases}$$

D'après le développement :

$$\eta^* = \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i^{\beta^*}}{n} \right)^{\frac{1}{\beta^*}}$$

$$\beta^* = \frac{n}{(\eta^* \sum_{i=1}^n t_i^{\beta^*} \ln(t_i)) - \sum_{i=1}^n (\ln(t_i))}$$

Qui sont les estimateurs de η et β par la méthode de vraisemblance.

2.6 Le test d'adéquation

Les tests d'adéquation généralement utilisés pour tester si la distribution d'un échantillon selon une loi établie ils permettent de prendre une décision avec un seuil d'erreur α exprimé de manière précise, si on trouve que les écarts présentés par l'échantillon par rapport aux valeurs théoriques attendues dûs au hasard ou sont au contraire significatifs [6]. Les tests d'adéquation sont utilisés dans plusieurs situations :

1. ils permettent d'examiner la supposition de normalité faite dans grand nombre de tests;
2. une simulation stochastique, ils donnent la possibilité d'examiner qu'un processus qui engendre un échantillon selon une loi établie produit des valeurs acceptables;
3. ils permettent d'examiner le bon fonctionnement d'un équipement :

2.6.1 Les différents types de tests d'adéquation

Les deux principaux tests d'adéquation reposent sur des approches différentes : le test de khi-deux et le test Kolmogorov-Smirnov [6].

2.6.1.1 Le test de Khi-deux

Le test de Khi-deux (χ^2) assortit aux données présentent un nombre fini de classifications (des variables finie discrètes ou bien des variables continues qu'on a regroupé en un nombre limité de classes) on peut vérifier si ces variables (si on tombe sur des variables qualitatives) sont indépendantes c'est-à-dire si il y a un lien entre ces variables.

L'objectif du test est de faire une comparaison entre la distribution observée et la distribution théorique.

On a l'hypothèse nulle est :

H_0 : entre la distribution observée et la distribution théorique il y a adéquation.

Soient O_i le nombre observé Pour chaque réalisation X_i et C_i qui sont les effectifs théoriques que on obtien en appliquant la loi théorique telque $C_i = n.p_i$.

Sous l'hypothèse H_0 la variable aléatoire D Définie par : $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - C_i)^2}{C_i} \rightsquigarrow X^2(k-1)$ où k nombre de modalités extrait de X.

Ce test s'applique pour l'échantillon de taille grand ($C_i > 5$) pour chaque i (qui représente la classe).

On a la distance entre les valeurs observé est les valeurs et les valeurs théoriques re-présent la statistique D [6].

2.6.1.2 Le test d'ajustement Kolmogorov-Smirnov :

Est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse H_0 . Ce test se base sur l'observation, les données observées sont engendrées par une loi de probabilité théorique, les calculs sur les lois de probabilité se font sur les fonctions de répartition, Le test de

Kolmogorov-Smirnov compare la fonction de répartition uniforme F_0 avec la fonction de répartition de l'échantillon empirique F_n . L'idée est de calculer la distance maximale entre les fonctions théoriques et empiriques. Si cette distance dépasse une certaine valeur, qu'on lira dans un tableau, on dira que l'échantillon est mauvais.

on teste [8] :

- l'hypothèse $H_0 : F = F_0$
- _ conter
- l'hypothèse $H_1 : F \neq F_0$

(X_1, X_2, \dots, X_n) est un n échantillon de X Donc la fonction empirique associée à cette échantillon est :

$$F_n(X) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{1}_{]-\infty, X]^{X(k)}} = \frac{\text{Nombre d'observation}}{\text{taille de l'échantillon}}$$

L'écart entre la fonction de répartition empirique F_n et la fonction de répartition théorique mesuré par la variable aléatoire :

$$\nabla_n = \sup_{X \in R} |F_n(X) - F_0|$$

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux concepts de la théorie de fiabilité utilisés en maintenance. Nous avons expliqué les outils mathématiques qui permettent de modéliser la fiabilité. Nous avons donné les lois de probabilité utilisées en fiabilité.

Pour estimer les paramètres d'une loi de probabilité, Nous avons utilisé les méthodes d'estimation paramétrique. Parmi ces méthodes la méthode d'estimation par le maximum de vraisemblance. Les modèles seront validés on s'appuyant sur deux tests, à savoir, le test de Khi-deux et le test de Kolmogorov-Smirnov.

Chapitre 3

Généralités sur la maintenance et ses politiques

3.1 Introduction

L'objectif de la maintenance est de maintenir les équipements de production pour améliorer la productivité des usines aussi bien pour la qualité des produits. Par conséquent, la maintenance comprend les opérations de dépannage et de réparation, de réglage, de contrôle de révision, et de vérification des équipements.

3.2 Contexte général de la maintenance

3.2.1 Définition de la maintenance

C'est l'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management [10].

3.2.2 Le but de la maintenance

Les principaux but de la maintenance :

1. facteur économique : minimise le coût de défaillance, minimise le coût direct de prestation économie de l'énergie [11].
2. Facteur humain : environnement de travail, la sécurité de travailleurs, nuisance.
3. Facteur technique : la disponibilité d'équipements, la résistance et la solidité d'équipement.

3.3 Les types de maintenance

les plus grandes types de maintenance sont la maintenance corrective et la maintenance préventive on peut considérer aussi la maintenance améliorative (voir la Figure 3.1) [3] :

3.3.1 La maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. La terminologie "Maintenance curative" est très souvent utilisée à tort en remplacement de la terminologie "Maintenance corrective" [7]. il y a de types de maintenance corrective :

3.3.1.1 La maintenance palliative

Opération destinée à remettre un équipement dans un état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises [7].

3.3.1.2 La maintenance curative

Maintenance curative : ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Elle se caractérise par la recherche des causes initiales d'une défaillance en vue de réparer l'équipement. Cette remise en état du système est une réparation durable [7].

3.3.2 La maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien [7].

il y a trois types de maintenance préventive :

3.3.2.1 La Maintenance préventive systématique

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien [7].

1. Limitation précise de calendrier d'intervention :
Ce planning principalement basé sur les propriétés de fiabilité de l'équipement concerné ;
2. Planification des interventions de maintenance systématique en fonction des arrêts de production planifiés ;
3. L'impact de la maintenance systématique sur la fiabilité

3.3.2.2 La maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent [7]. Terminologie particulière : la Maintenance proactive

3.3.2.3 La maintenance préventive prévisionnelle

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien [7].

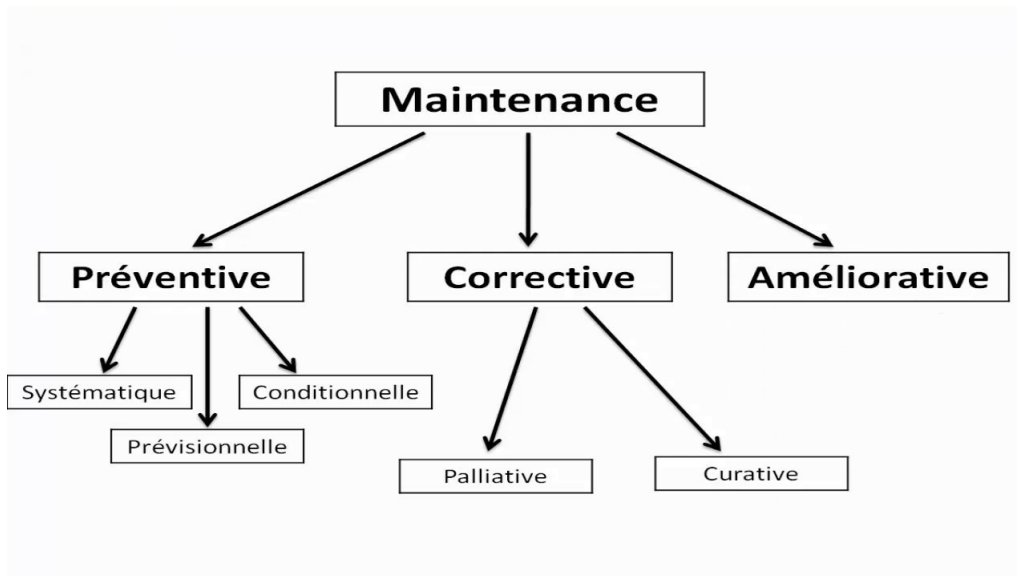


FIGURE 3.1 – maintenance et ses types

3.4 Modélisation de l'efficacité de la maintenance

3.4.1 Les modèles de base

En supposant que les actions de maintenance (préventives ou correctives) sont inefficaces, soit elles remettent le système à son état neuf. En réalité on peut pas imaginer des actions de maintenance où l'effet est nul sur le système. Pour la second hypothèse il n'est valable que pour les composants remplacés pas des neufs. On peut améliorer l'état de système complexes constitués de plusieurs composants, mais on ne peut pas le remettre à son état neuf [12]. on a les modèles de base représentent l'effet de maintenance sur le système :

3.4.1.1 Le modèle de maintenance minimale

Dans le modèle de maintenance minimale on suppose que les actions de maintenance remettent le système dans un état où il était juste avant la défaillance. Dans ce cas l'effet de maintenance est nul. Les systèmes après maintenace est dit mauvais que vieux ou en anglais As Bad As Old (ABOA).

L'intensité de défaillance de le cas du mdèle (ABOA) est ne dépend que du temps.

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) \quad (3.1)$$

λ_0 représente le taux de défaillance avant d'effectuer une une action de défaillance. La Figure 3.3 représente l'allure de la fonction du taux de défaillance [8].

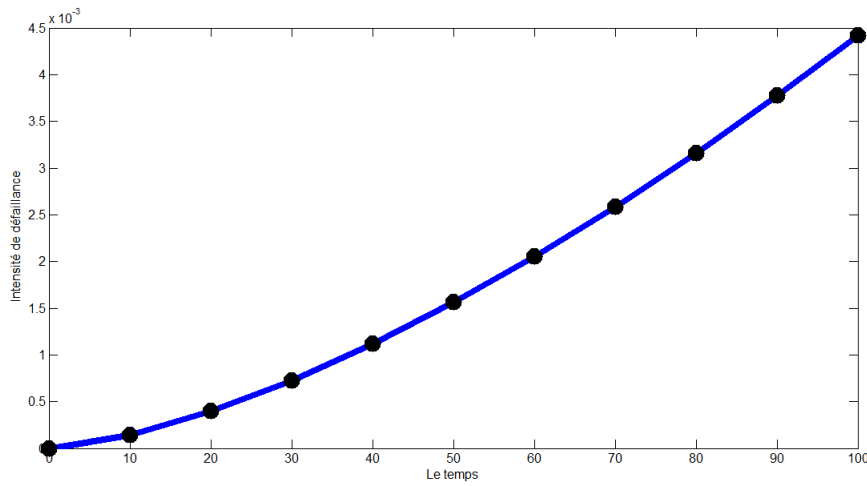


FIGURE 3.2 – Intensité de défaillance de le cas de maintenance ABOA selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$ et $\eta = 200$

3.4.1.2 Modèle de maintenance parfaite

Le modèle de maintenance parfaite considère à chaque action de maintenance le système devient neuf. l'influence de maintenance est maximal, donc le système est bon que neuf en anglais As Good As new [13].

Le système reçoit des actions de maintenance à des instants successifs notés T_i pour $i = 1, 2, \dots, I_M$. le taux de défaillance, à un instant $t \in]i, i + 1[$, dans le cas de maintenance AGAN s'écrit comme suit :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t - T_i) \quad (3.2)$$

L'allure de la fonction de défaillance d'un système dans le cas d'une maintenance (AGAN) est représentée sur la Figure 3.4.

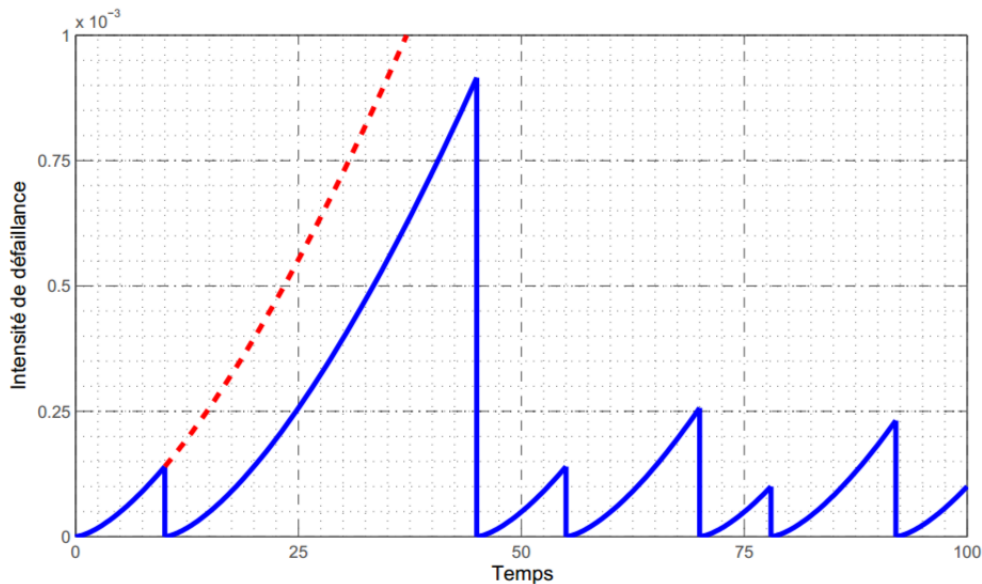


FIGURE 3.3 – Intensité de défaillance dans le cas de maintenance AGAN (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$ et $\eta = 200$)

3.5 Principe de la maintenance imparfaite

Lors d'opérations de maintenance sont effectuées sur des systèmes complexes, il y est difficile d'imaginer que leur effet correspond à celui des deux modèles de base (ABOA ou AGAN). En pratique lorsque les actions de maintenance sont effectuées, le système peut subir des remplacements d'un ou plusieurs composants, des réglages, des rectifications, etc. Son état ne peut donc être identique à celui juste avant l'intervention. Le système est dans un état meilleur que vieux. Le système ne peut être à son état neuf. Il doit renouveler tous les composants du système pour ramener le système à son état neuf [12].

3.6 Optimisation de la maintenance imparfaite

On considère que la maintenance imparfaite est traitée selon deux approches différentes, on appelle la première approche "réduction d'intensité de défaillance", donc l'effet de maintenance sur le système est de réduire son intensité de défaillance. La deuxième approche considère l'effet de maintenance sur le système est de rajeunir "réduction de l'âge virtuel". On peut considérer une troisième classe de modèles, cette classe est appelée "modèles hybrides" [12].

3.6.1 Modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance

Ce modèle appelé aussi quasi-renouvellement. Le principe de cette classe considère qu'après une action de maintenance imparfaite, on fait le produit entre la fonction de taux de défaillance et α où $0 < \alpha < 1$. On a la fonction du taux de défaillance après la première action de maintenance devient : $\lambda(t) = \alpha \lambda_0(t)$, après la seconde action de maintenance la fonction d'intensité de défaillance devient : $\lambda(t) = \alpha^2 \lambda_0(t)$, etc. La fonction d'intensité de défaillance correspond à ce modèle s'écrit :

$$\lambda(t) = \alpha^{I_M} \lambda_0(t) \quad (3.3)$$

Comme le montre la Figure 3.7, ce type de modèle a un double effet sur la courbe de la fonction de taux de défaillance : un effet immédiat puisque la courbe de taux de défaillance après démarre à partir d'un point inférieure à celui just avant l'intervention. L'autre effet à long terme puisque le taux de dégradation du système différent de celui avant l'intervention [12].

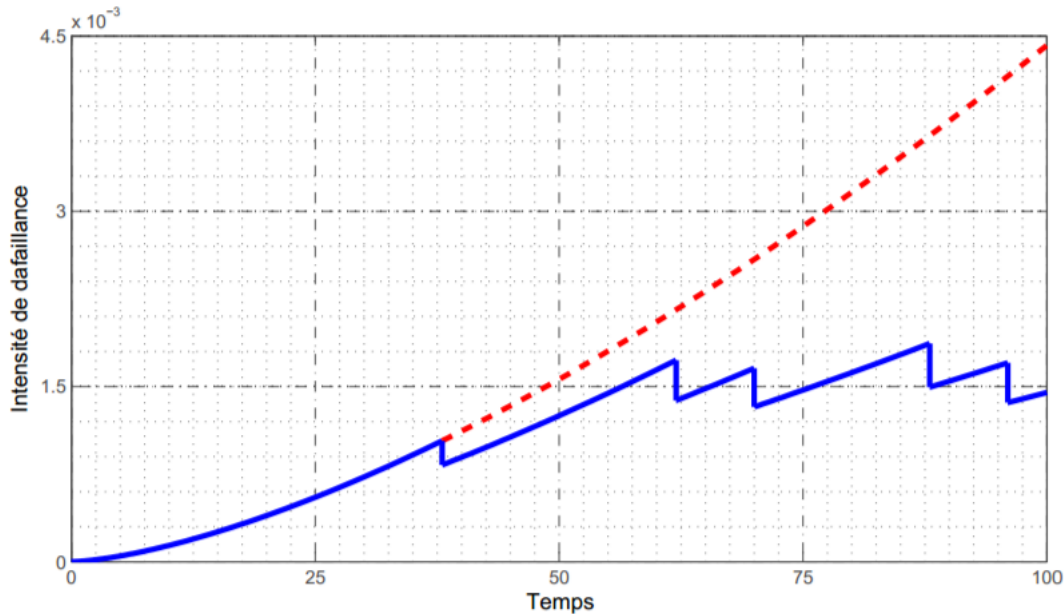


FIGURE 3.4 – Intensité de défaillance dans le modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$ et $\eta = 200$ et $\alpha = 0.8$)

3.6.2 Modèle de réduction de l'âge virtuel

Ce modèle considère que après une action de maintenance préventive imparfaite, l'âge du système égal à t avant l'intervention, est réduit à t/Δ , où Δ est le facteur de réduction de l'âge est qui varie entre 1 et l'infinie. ce modèle suppose que après la i^{me} action de maintenance imparfaite, on considère le système est neuf, qui aurait fonctionné une période A_i sans tombe en panne. A_i est l'âge virtuel du système après la i^{me} action de maintenance imparfaite [12].

On a après la i^{me} action de maintenance la fonction d'intensité de maintenance s'écrit :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t - T_i - A_i) \quad (3.4)$$

Pour $T_i < t < T_{i+1}$.

Donc l'effet de maintenance est de rajeunir le système [12]. l'âge de système égal à t alors que son âge virtuel égal à $t - (T_i - A_i)$. L'interprétation de l'efficacité de la maintenance dans ces modèle est donc liée à l'âge du système et à la quantité de réduction de l'âge traduit l'effet de la maintenance sur le système. Cependant, si on reprend les définitions de deux modèles de base on peut dire que dans le modèle ABAO, l'âge virtuel du système après une action de maintenance est égal à son âge réel. Par contre, dans le modèle AGAN, l'âge virtuel du système après une action de maintenance est nul [12]. Ce constat peut être s'écrit comme suit :

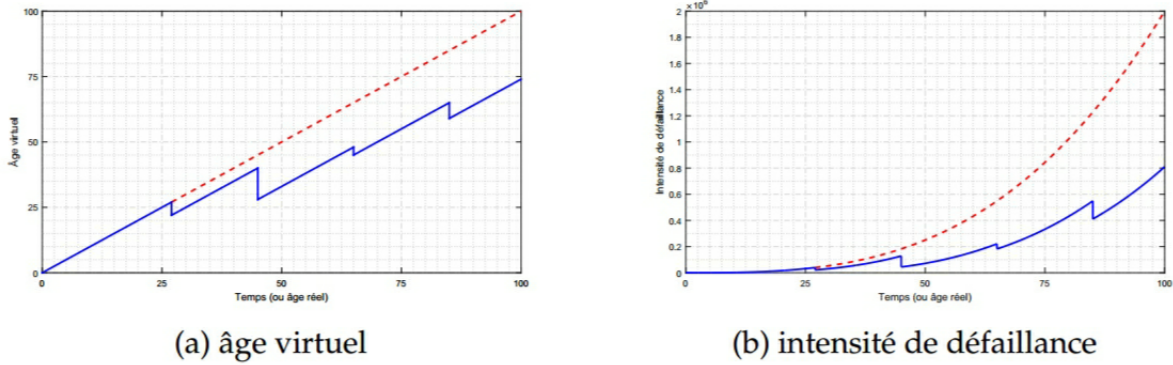


FIGURE 3.5 – Évolution de l'âge virtuel et d'intensité de défaillance, en fonction du temps, dans le modèle de réduction de l'âge virtuel

- Modèle de maintenance minimale (ABAO) : $A_i = T_i$
- Modèle de maintenance parfaite (AGAN) : $A_i = 0$

3.6.2.1 Modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel

Ce modèle considère que l'efficacité de maintenance est déterministe et constante ($\forall i \geq 1, Z_i = \rho$). Le facteur ρ lie au paramètre de réduction d'âge virtuel. Il est aussi désigné sous le nom de facteur d'amélioration. La formule de la fonction d'intensité de défaillance correspond à ce modèle s'écrit :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t - \rho T_{IM}) \quad (3.5)$$

L'allure de la fonction d'intensité de défaillance correspond à ce modèle est représenté sur la Figure 3.9 [12].

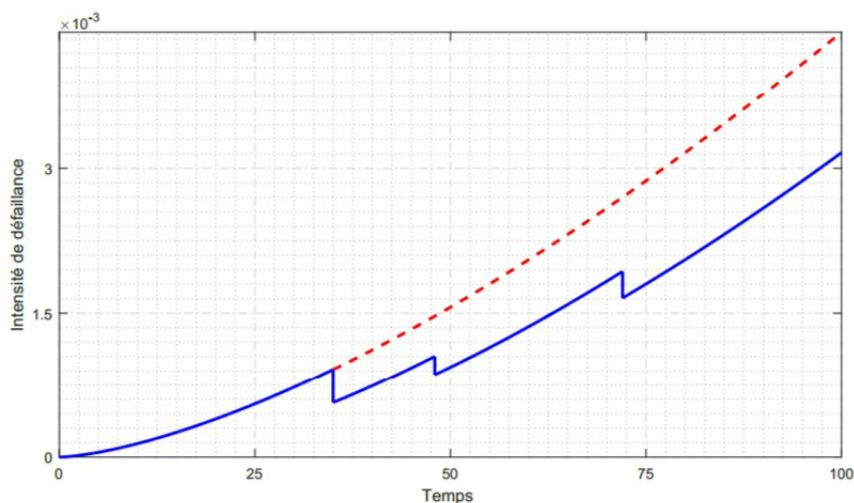


FIGURE 3.6 – Intensité de défaillance dans le modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$, $\eta = 200$ et $\rho = 0.2$)

Remarquons que cette écriture nous permet de retrouver les cas suivant :

- maintenance parfait (AGAN) : $\rho = 1$;

- maintenance imparfaite(efficace) : $\rho \in]0, 1[$;
- maintenance minimale(ABOA) : $\rho = 0$;
- maintenance nuisible : $\rho < 0$.

3.6.3 Modèle hybrides

Dans ce modèle on a considéré que les deux classe de réduction du taux de défaillance sont regroupés. Alors que leurs hypothèses sont différentes concernant la réduction d'intensité de défaillance. En effet, dans cette classe de modèles qui vient améliorer l'âge virtuel, l'effet d'une action de maintenance imparfaite est positif sur l'âge (i.e. réduction de l'âge virtuel) ça il n'empêche pas l'évolution de la dégradation du système (i.e. après une action de maintenance, la courbe de la fonction du taux de défaillance n'est pas parallèle à la courbe initiale. En d'autre terme, Cette classe fait la combinaison entre le modèle de réduction de l'âge virtuel et le modèle de réduction géométrique du taux de défaillance , dans l'effet est négatif pour ce dernier. On a l'écriture mathématique d'intensité de défaillance après la i^{me} action de maintenance imparfaite est donnée par la forme suivante :

$$\lambda(t) = \alpha \lambda_0(t - bT_i) \quad (3.6)$$

Où $T_i < t < T_i + 1$, et $0 < b < 1$ et $\alpha > 1$. On note que si α est compris entre 0 et 1, l'effet de la maintenance sera double(i.e. réduction d'intensité de défaillance et de l'âge virtuel).

La Figure 3.10 illustre l'évolution de la courbe du taux de défaillance selon plusieurs scénarios :

- $\alpha > 1$ et $0 < b < 1$ modèle hybride avec réduction de l'âge virtuel et une augmentation de la dégradation;
- $0 < \alpha < 1$ et $0 < b < 1$ modèle hybride avec réduction de l'âge virtuel et réduction géométrique d'intensité de défaillance;
- $0 < \alpha < 1$ et $b = 0$: modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance; $\alpha = 0$ et $0 < b < 1$: modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel [12].

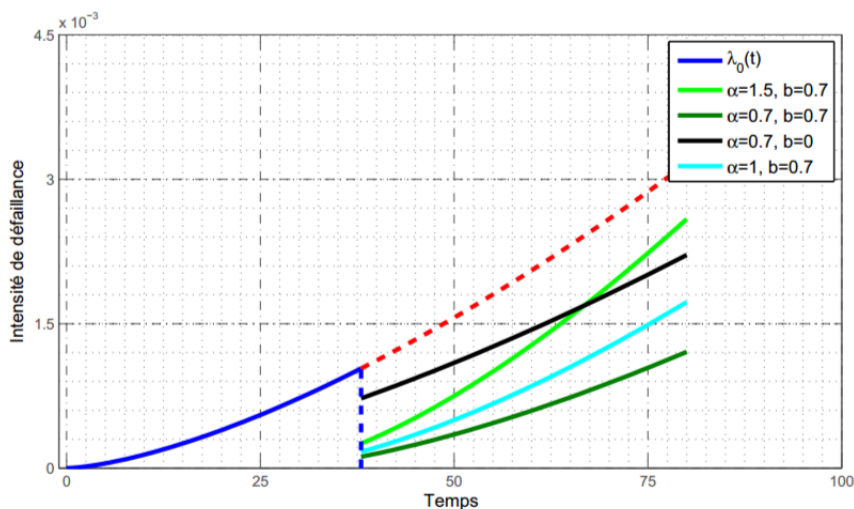


FIGURE 3.7 – Intensité de défaillance dans le modèle hybride(selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$, $\eta = 200$)

3.7 Politique de maintenance préventive pour les système élémentaires

Pour un système élémentaire signifie que toutes les parties du système de base sont des parties d'une machine (roulement ,arbre,...) ou une machine faisant partie d'un ensemble par exemple une pompe dans réseau de distribution d'eau potable une turbine dans une centrale thermique, etc. L'hypothèse commune pour les politiques présentées dans cette section réside dans le fait que la fonction d'intensité de défaillance du système est considérée croissante [8].

3.7.1 Politique de maintenance selon l'âge

Nous remplaçons un composante élémentaire quand il arrive à l'âge T ou à la défaillance (voir la Figure). Dans ce cas, les deux type de maintenance (Préventive, Curative) sont parfaites puisque le système est remplacé par un autre neuf [9].

3.7.1.1 Critère de coût

On a C l'espérance du coût de maintenance par unité de temps t . Noté c_c le coût moyen d'une MC, et le coût d'une PM est noté c_p avec $c_p \leq c_c$ [14]. Les durées de maintenance (préventive et Curative) sont négligeables. Donc l'espérance du coût total de maintenance et formulée comme suit :

$$C(t) = \frac{C_p R(t) + F(t)C_c}{\int_0^T R(t)dt} \quad (3.7)$$

T : représente l'âge du remplacement préventif du système tel que $T \geq 0$.

T^* : c'est l'âge optimale de remplacement correspond à la valeur minimale de l'équation $C(T)$.

Et c_p : le coût du remplacement préventif.

Et c_c le coût de défaillance incluant le coût du remplacement

$R(t) = 1 - F(t)$: est la fonction de fiabilité .

3.7.1.2 Critère de disponibilité

Contrairement au modèle précédent, le temps de maintenance doit être pris en compte. Notons par t_c la durée d'intervention corrective (CM), et t_p la durée d'intervention préventive (PM). La durée de maintenance corrective supérieure à la durée de réparation préventive ($t_c \geq t_p$) [9].

Selon le modèle, la période de renouvellement X est égale à :

— $X = t + t_c$ si le système tombe en panne dans l'intervalle de temps $[t, t + dt], t \leq T$ avec une probabilité $f(t)$, ou

— $X = t + t_p$ si le système fonctionne sans défaillance jusqu'à atteindre l'âge T , avec une probabilité $R(t)$.

L'espérance de la période de renouvellement de ce modèle :

$$E[X] = \int_0^T R(t)dt + (t_c F(t) + t_p R(t))dt \quad (3.8)$$

Sachant que la disponibilité correspond au rapport entre l'espérance du temps de bon fonctionnement et l'espérance du cycle de vie. La fonction objectif de ce modèle s'écrit :

$$A(T) = \frac{\int_0^T R(t)dt}{\int_0^T R(t)dt + t_c F(t) + t_p R(t)} \quad (3.9)$$

3.7.2 Politique de maintenance en bloc

Connue en anglais sous le nom bloc replacement policy (BRP). Dans cette stratégie, l'unité est remplacée à un cycle fixe, et Quels que soient l'âge et l'historique des pannes du système de production, lors de chaque panne. Comme pour la stratégie de type d'âge, le coût du remplacement prévu est C est moins cher que le remplacement après une panne. kT ($k = 1, 2, 3, \dots$) [17]. Trois modèle de base peuvent être trouvés dans cette politique [8].

3.7.2.1 Modèle 1

Le renouvellement du système est périodique et fait à des intervalle de temps fixes T (avec T est une constante) aussi le renouvellement du système est après une défaillance donc cette structure de maintenance est voisine de celle du modèle selon l'âge [9]. le paramètre à optimiser est aussi T , L'espérance du coût de maintenance par unité de temps est calculée sur la période de renouvellement T :

$$C(T) = \frac{c_c E[N_d(T)] + c_p}{T} \quad (3.10)$$

Où $E[N_d(T)]$ est l'espérance du nombre de défaillances dans l'intervalle du temps $[0, T]$.

Pour le modèle de disponibilité nous suivons la même logique de la politique selon l'âge, celui de la présente politique s'écrit :

$$A(T) = \frac{T}{T + t_c E[N_d(T)] + t_p} \quad (3.11)$$

Si le système tombe en panne à l'instant proche de T , il est remplacé à la défaillance, et aussi quelque temps après lors de la MP périodique. Cette remarque constitue le principal défaut de ce modèle.

3.7.2.2 Modèle 2

Dans le modèle 1, le renouvellement du système est fait directement après la défaillance. Ici nous admettons que la défaillance n'est détectée que lors des instants de maintenance préventive. Après la défaillance le système reste donc dans son état défaillant Nous ne le réparons que s'il atteint le moment de la maintenance préventive MP périodique qui suit la défaillance[9]. Donc la fonction du coût par unité de temps dans ce modèle s'écrit :

$$C(T) = \frac{c_c F(T) + c_p}{T} \quad (3.12)$$

3.7.2.3 Modèle 3

Dans ce modèle qui est connu sous le nom de " Politique de MP périodique avec réparation minimale à la défaillance". Les défaillances sont révélées en temps voulu et réparées mais avec un effet nul sur le processus de dégradation du système(MC minimale). Ainsi, le

processus de défaillance $N_d(t)$ n'est pas perturbé par les actions de MC[9]. La fonction de coût de maintenance par unité de temps s'écrit donc :

$$C(T) = \frac{c_c H(T) + c_p}{T} \quad (3.13)$$

Avec :

$$H(T) = \int_0^T \lambda(t) dt \quad (3.14)$$

Où $H(T)$ est "le taux de hasard cumulé", $\lambda(t)$ est aussi appelé, dans ce modèle, le taux d'occurrence de défaillance.

3.7.3 Politique de maintenance périodique imparfaite avec réparation minimale

Cette politique est considérée l'une des politiques des systèmes réparables les plus réaliste. Cette politique suppose que le système reçoit des actions de MP périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance. Cette politique différente du modèle 3 de la politique en bloc telle que les actions de maintenance ici sont imparfaites. Par conséquent, dans la politique en bloc le système est renouvelé à chaque période de temps T, dans la présente politique de maintenance les périodicités T représentent les instants des MP imparfaites Et le système ne sera mis à jour qu'après avoir fonctionné pendant un certain temps KT [9].

La fonction du coût de maintenance par unité de temps est donné par l'expression :

$$C(K, T) = \frac{c_c H(K, T) + (k - 1)c_p + c_r}{KT} \quad (3.15)$$

c_c : Le coût moyen d'une maintenance curative MC ;

c_p : Le coût moyen d'une maintenance préventive MP ;

K : Nombre de révisions partielles avant la révision générale ;

c_r : Coût moyen de renouvellement ;

où $H(K, T)$ est le taux cumulé d'occurrence des défaillances entre $t=0$ et LE renouvellement $t=KT$.

3.8 Optimisation de la maintenance

Afin d'optimiser la maintenance d'une entité donnée, il doit être possible d'évaluer La performance des différentes stratégies qui lui sont appliquées. L'évaluation permet Définir la stratégie optimale selon les critère établies. Notez que beaucoup il existe des critère pour comparer les stratégies de maintenance entre elles. Ce critère de décision peut également être basé en coût, par exemple un coût moyen de maintenance à long terme ou le coût d'opération par unité de temps , que sur la disponibilité de système ou encore la sécurité la figure est une illustration des influences de la fréquence des opérations de maintenance sur les coût liés soit à la maintenance corrective soit à la maintenance préventive. [8].

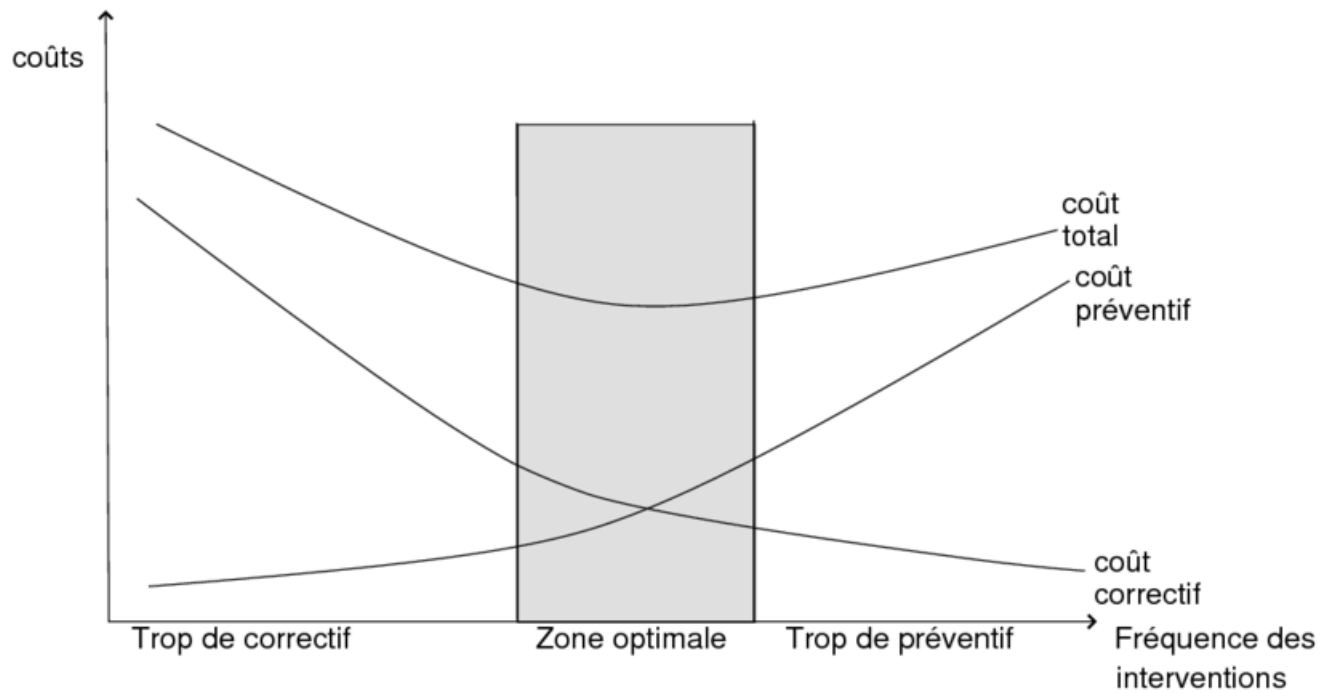


FIGURE 3.8 – La nécessité de contrôler l'équilibre entre maintenance préventive et maintenance corrective

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une manière générale la fonction de maintenance cette dernière joue un rôle très important dans l'entreprise, la direction de l'entreprise demande l'utilisation des techniques précises pour atteindre des objectifs de l'entreprise. Dans le but d'évaluer la disponibilité de production et les coûts de maintenance il est nécessaire de développer des modèles qui permettent de considérer le système et la maintenance. Dans ce chapitre nous avons parlé de quelques modèles de maintenance préventive pour les systèmes élémentaires dans le cadre de l'optimisation de la maintenance.

Chapitre 4

Optimisation de la périodicité de la maintenance préventive des turbopompes TP01 et TP02

4.1 Introduction

Notre travail consiste à déterminer la périodicité optimale T^* de la maintenance préventive imparfaite qui s'applique aux turbopompes TP01 TP02, au niveau de la station de pompage SP1Bis.

Pour cela, nous avons estimé les paramètres de la loi de Weibull à l'aide de logiciel EASYFIT des données collectées au niveau de RTC-Béjaia, département méthode sur lequel nous avons effectué l'application. Puis nous avons procédé à la construction d'un modèle de Maintenance imparfaite.

4.2 Présentation de la station de pompage SP1Bis

Dans le sud algérien, cette station de pompage de pétrole brut d'une capacité de 2 200 m³/h est constituée de deux turbopompes TP01 et TP02 de 10 mégawatts chacune, et de deux turboalternateurs pour la production d'électricité. Les turbines sont alimentées en gaz à partir d'une ligne de 120 km, de 16" de diamètre. Cet ensemble mis en œuvre permet d'acheminer le pétrole vers le nord de l'Algérie.

Les turbines sont placées en parallèle. et sont attachées à une pompe, mais une seule turbine est en marche. Si il y a une intervention de maintenance, cette dernière va déclencher le fonctionnement de la deuxième turbine.

4.3 Les données du temps d'intervention

Dans ce cas, il y a deux types de données d'intervention, l'intervention préventive et corrective.

4.3.1 Les données du temps d'intervention préventive

Les données d'indisponibilité des turbopompes (TP) au niveau de la station de pompage SP1BIS, il suffit de prendre les temps d'interventions de la turbopompe TP01 car TP01 et TP02 sont identiques.

4.3.1.1 Les données d'intervention préventive pour TP01

TABLE 4.1 – Le temps d'intervention préventive pour TP01

Station	Turbine	Indisponibilité de TP01		Type d'intervention	Durées de marche en heure
		Début d'intervention	Fin d'intervention		
SP1Bis	TP01	19/03/2008	21/03/2008	ME/RÉVISION DE 4000h	29786
SP1Bis	TP01	25/05/2009	26/05/2009	ME/RÉVISION DE 8000h	8842
SP1Bis	TP01	30/09/2009	01/10/2009	ME/RÉVISION DE 8000h	8842
SP1Bis	TP01	01/08/2012	03/08/2012	INSPECTION BOROSC	13800
SP1Bis	TP01	08/10/2014	13/10/2014	RÉVISION 4000h	22424
SP1Bis	TP01	19/06/2015	15/06/2016	RÉVISION DE 8000H	25150
SP1Bis	TP01	19/03/2019	20/03/2019	ISPECTION BOROS 4000h	29786
SP1Bis	TP01	27/02/2019	22/06/2019	RÉVISION GÈN 32000h	30280

Le tableau (4.1) représente les durées de marches en heures avant l'intervention préventive d'après ces durées on peut conclure la loi de distribution.

On remarque que ces durées de marche cumulent à chaque intervention préventive.

4.3.2 Les données d'intervention corrective

Les données d'indisponibilité des turbopompes (TP) au niveau de la station de pompage SP1BIS, il suffit de prendre les temps d'interventions de la tubopompe TP01 car TP01 et TP2 sont identique.

4.3.2.1 Les données d'intervention corrective pour TP01

TABLE 4.2 – Le temps d'intervention Corrective pour TP1

Station	Machine	Indisponibilité de TP01		Type d'intervention	Durées de marche en heures
		Début d'intervention	Fin d'intervention		
SP1BIS	TP01	26/02/2009	03/03/2009	Blocage de la pompe	9346
SP1BIS	TP01	03/04/2010	03/04/2010	fuite du système de refroidissement	9464
SP1BIS	TP01	05/05/2011	12/05/2011	Fuite garniture	10105
SP1BIS	TP01	02/05/2012	10/05/2012	transmetteur de pression	17213
SP1BIS	TP01	01/07/2013	04/07/2013	circuit d'évent de la pompe	20732
SP1BIS	TP01	19/04/2014	19/06/2014	Problem d'allumage	22924

4.3.2.2 Les donnée d'intervention Corrective pour TP02

TABLE 4.3 – Le temps d'intervention corrective pour TP02

Station	Machine	Indisponibilité de TP01		Type d'intervention	Durées de marches en heures
		Début d'intervention	Fin d'intervention		
SP1BIS	TP02	01/05/2009	01/05/2009	Fuite garniture	8602
SP1BIS	TP02	03/06/2010	03/06/2010	probleme d'allumage	8683
SP1BIS	TP02	03/06/2011	12/06/2011	Fuite cyclone	8683
SP1BIS	TP02	12/06/2012	20/06/2012	Non allumage turbine	8683
SP1BIS	TP02	15/07/2013	19/07/2013	L'arret de ventilateur	11752
SP1BIS	TP02	24/08/2014	29/08/2014	Aérorefrigérant	17095

4.4 Estimation de la fiabilité

4.4.1 Estimation des paramètres de la fonction d'intensité

Nous avons utilisé le logiciel Easyfit pour sélectionner la loi de distribution et estimer ses paramètres. Avec la simulation des données, nous avons trouvé que la loi de distribution est de Weibull, avec $\beta = 2,7486$ et $\eta = 12958,0$

4.5 Test d'ajustement

4.5.1 Hypothèse à tester

(H_0) : La durée de vie suit une loi de Weibull de paramètre $\beta = 2,7486$ et $\eta = 12958,0$

(H_1) : La durée de vie ne suit pas une loi de Weibull de paramètre $\beta = 2,7486$ et $\eta = 12958,0$

(H_0) contre (H_1)

4.5.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

— Le plus grand écart est observé pour la taille de l'échantillon $n = 12$:

$$D_{Max} = 0,27695$$

— Pour $n = 12$ la table de Kolmogorov donne, pour $\alpha = 0,05$, la valeur seuil :

$$D_{n,\alpha} = 0,37543.$$

$D_{max} < D_{n,\alpha} = 0,37543$ on accepte (H_0) . La différence observée n'est pas significative (au seuil de 0,05) donc la durée de vie suit une loi de Weibull.

4.6 Modèle de maintenance adopté par la RTC

Le choix du modèle d'optimisation est basé sur la stratégie de maintenance appliquée au niveau de la station de pompage SP1Bis, c'est la maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance.

Pour $(k-1)$ cycle :

$$C(K, T) = \frac{c_c H(K, T) + (k-1)c_p + c_r}{KT} \quad (4.1)$$

c_c : Le coût moyen d'une maintenance curative MC ;

c_p : Le coût moyen d'une maintenance préventive MP ;

K est varier : Représente le nombre de révisions partielles avant la révision générale ;

c_r : Coût moyen de renouvellement ;

où $H(k, T)$ est le taux cumulé d'occurrence des défaillances entre $t=0$ et le renouvellement $t=KT$.

4.7 Estimation des coûts

Nous avons un certain nombre d'hypothèses pour estimer les coûts de maintenance et en essayant d'être proche de la réalité.

Les frais d'intervention comprennent.

- Le coût de pi ece de rechange ;
- Le coût de la main d'oeuvre ;

4.7.1 Estimation des coûts de la révision générale

D'après le bilan de la révision générale d'un TP01 et TP02 au niveau de la station SP1Bis.

- Le coût moyen de maintenance préventive est : 4000.000 DA
- Le coût du renouvellement est : 20.000000 DA

4.7.2 Estimation du coût de la maintenance corrective

Le coût de maintenance corrective d'après le bilan de la maintenace curative d'un TP01 et TP02 au niveau de la station de pompage SP1Bis est :

Le coût de la maintenance corrective est : 2000.000 DA

4.8 Optimisation

4.8.1 Optimisation de la fonction objectif

Le but de cette partie est de déterminer la période optimale pour effectuer la révision générale notée T, qui minimise la fonction des coûts de maintenance par unité de temps. La fonction objectif à minimiser est la suivante :

$$C(K, T) = \frac{c_c H(T, K) + (k - 1)c_p + c_r}{kT} \quad (4.2)$$

K :le nombre de cycle de maintenance préventive qui sont effectués.

Tel que le nombre moyen de défaillance dans un intervalle [0,T] est donnée par :

$$H(T) = \int_0^T \alpha \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt = \alpha \left(\frac{T}{\eta}\right)^{\beta} \quad (4.3)$$

Pour K cycle :

$$H(T, K) = \sum_{k=1}^K \int_{(k-1).T}^{k.T} \alpha^k \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{(\beta-1)} dt = \alpha^k \cdot \left[\left(\frac{k.T - (K-1).T}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (4.4)$$

Le taux de défaillance en fonction du temps et du facteur de dégradation α sont représentés dans la figure 4.1 :

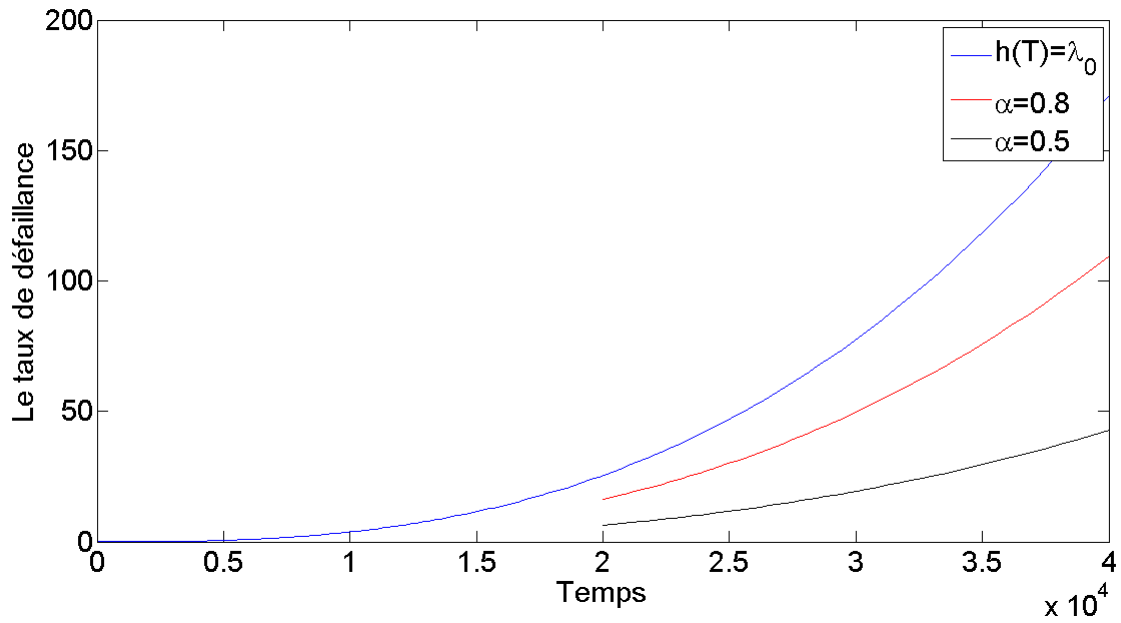


FIGURE 4.1 – L'allure de la fonction du taux de défaillance

4.8.1.1 Interprétation des résultats

On remarque que pour les grandes valeurs de α la maintenance imparfaite tend vers une maintenance minimale, et lorsque α est petit la maintenance imparfaite tend vers une maintenance parfaite

4.8.2 Procédure de l'optimisation

— Nous avons remplacé $H(T, k)$ dans la fonction des coût $C(T, K)$

$$C(T, K) = \frac{c_c \cdot \alpha^k \cdot \left[\left(\frac{k \cdot T - (k-1) \cdot T}{\eta} \right)^\beta \right] + (K-1)c_p + c_r}{kT} \quad (4.5)$$

La difficulté de trouver le T optimale analytiquement, on procède d'une manière numérique, on a implémenter un programme Matlab qui nous a permet de calculer la périodicité optimale T des révisions partielle et le coût total de la maintenance .

Sur la base de ces données(Coût de maintenance préventive, corrective et les Coût de renouvellement) nous avons le graphe de la fonction du coût en fonction de temps T et le nombre de cycles de maintenance préventive :

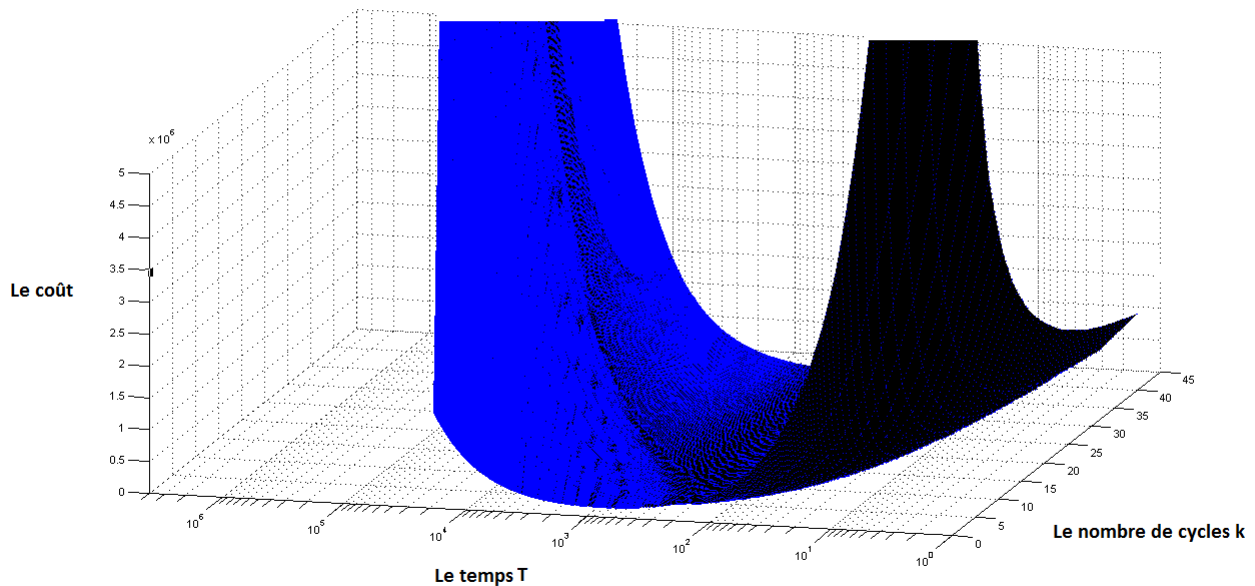


FIGURE 4.2 – La fonction de coût en fonction de deux variables

4.8.2.1 Interprétation des résultats

D'après la figure 4.2 qui représente la variation de coût en fonction de T et K, on remarque que pour des petites valeurs de T le coût est grand. Puis le coût diminue avec l'augmentation de T jusqu'à qu'il atteinte une valeur minimale. Puis il augmente car le système a subit beaucoup de pannes à cause de vieillissement .

Concernent la variable K pour les petites valeurs de k(nombre de cycles de maintenance imparfaite) le coût est maximal après pour les grandes valeurs de K il diminue.

4.9 Résultats de l'optimisation

Nous avons le temps optimale T^* et le coût minimal en fonction de α qui sont représentés sur le tableau 4.4

TABLE 4.4 – Le temps optimal et le coût minimal de la maintenance imparfaite en fonction du facteur de dégradation α

α	Coût minimum	T^*
0.1	118.00 DA	35000
0.2	124.00DA	35000
0.3	141.00DA	35000
0.4	191.00	33420
0.5	286.00DA	22278
0.6	445.00	14353
0.7	8602	742
0.8	1435	4444
0.9	1568	4068

Nous avons le nombre de cycle optimale de la maintenance préventive imparfaite k^* et le coût minimal en fonction de α sont représenté sur le talbleau 4.4

TABLE 4.5 – Le nombre optimale de maintenance imparfaite et le coût minimal en fonction du facteur de dégradation α

α	Coût minimum	K^*
0.1	256DA	7
0.2	257DA	7
0.3	258DA	7
0.4	259 DA	7
0.5	266 DA	8
0.6	290DA	8
0.7	366 DA	8
0.8	573DA	8
0.9	873DA	4

4.9.1 Interprétation des Résultats

Pour trouver la périodicité T^* optimale qui minimise la fonction de coût, nous considérons le coût minimal dans le tableau (4.4) qui est égal à 118.00 DA pour $\alpha = 0,1$. Nous trouvons que $T^* = 35000$ heurs qui est la période optimale de chaque révision partielle, et à partir du talbeau(4.5) nous avons trouvé le nombre de cycle optimal $k^* = 8$ donc la période de la révision générale est égale à $k^* * T^* = 8 * 35000 = 280000heures$. Donc, la période de la révision générale est égale á 32 ans.

4.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons construit un modèle d'optimisation basé sur la stratégie de Maintenance préventive périodique imparfaite. Par conséquent pour minimiser la fonction de coût de maintenance par unité de temps, nous avons déterminé la périodicité optimale des révision générales. Cela nous a permis de fournir un plan de maintenance préventive pour les TP01 et TP02 de la station de pompage SP1BIS.

Conclusion générale

Diriger la maintenance des équipements de la station de pompage SP1Bis, est l'un des problèmes les plus considérables que la RTC attache à réaliser de nos jours. Sur la base de la politique de maintenance préventive imparfaite, l'objectif de notre travail est l'optimisation de la maintenance d'un système réparable. La politique de la maintenance optimale est celle qui permet de perfectionner la disponibilité, de diminuer la probabilité de défaillance et tout cela au moindre coût.

Dans notre travail, il s'agit plus spécialement de trouver la périodicité optimale des révisions générales au niveau de la station de pompage SP1Bis, qui minimise la fonction du coût de maintenance par unité de temps. Nous avons utilisé la loi de Weibull à deux paramètres, qui possède l'avantage de modéliser les trois phases de la vie d'un composant. L'ajustement avec le logiciel Easyfit nous permet de faire ressortir les valeurs des paramètres η et β .

Nous proposons d'améliorer ce travail par l'optimisation de la fonction des coûts en ajoutant une deuxième variable qui sera le nombre de cycles k à répéter avant le renouvellement du système. Nous aurons alors à résoudre un problème à deux variables (T, k) .

Bibliographie

- [1] M. Amrani, I. Boussenoune et A. Benmimoun, *Modélisation de l'efficacité de la maintenance des systèmes multi-composants, mémoire de fin d'étude Master*, Université de Bejaia, Département Recherche Opérationnelle, 2020.
- [2] E. Ait Mokhtar, *Rappel-Fiabilité, Cours*, Université de Béjaia, Département Recherche Opérationnelle, 2020.
- [3] O. Gaudoin, *Note de Fiabilité des systèmes et des logiciels, Cours*, Université de Grenoble, 2006
- [4] A. Ghouar, *L'estimation de la fonction de Fiabilité, Mémoire Master*, Université Badji Mokhtar, Faculté des sciences, Département de Mathématiques, 2016.
- [5] E. Ait Mokhtar, *Fiabilité industrielle, Cours*, Université de Béjaia, Département Recherche Opérationnelle, 2020.
- [6] M. Keita, *Introduction à la méthode statistique et probabiliste*, 2016.
- [7] Afnor. 60-010, *Maintenance industrielle-Fonction maintenance*, publish France, 2001.
- [8] A. Kassa et M. Chibane, *Optimisation de la Maintenance Préventive des Equipements de la DRGB Sonatrach : cas de station de pompage SP2 et SP3, Mémoire Master*, Université de Béjaia Département de Recherche Opérationnelle, 2015.
- [9] E. Ait Mokhtar, *Modèles de maintenance basés sur la durée de vie, Cours*, Université de Béjaia, Département Recherche Opérationnelle, 2020.
- [10] Afnor. X60-000, *Maintenance industrielle-Fonction maintenance*, publish France, 2020.
- [11] Y. Rassim, *Généralité sur la fiabilité, Cours*, Université de Béjaia
- [12] E. Ait Mokhtar, *Modélisation de l'efficacité de maintenance, Cours*, Université de Béjaia, Département Recherche Opérationnelle, 2020.
- [13] Y. Dijoux, *Un modèle d'âge virtuel avec intensité de défaillance en baignoire*, Institut National Polytechnique de Grenoble Laboratoire LMC BP 53 - 38 041 Grenoble Cedex 9 France, 2006.
- [14] B. Ait Saidi et K. Mouhous, *Mémoire master, Optimisation de la maintenance de la chaîne de production de la semoulerie SSG*, Université de Béjaia, Spécialité électromécanique maintenance industrielle, 2021.
- [15] A. Sadkin et B. Yessad, *Optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité, cas d'une centrifugeuse discontinu, Mémoire Master*, Université de Béjaia, Département Électrotechnique, 2020.
- [16] T. Arkoub et L. Cherfaoui, *Optimisation de la Maintenance préventive de Système du Parc de Stockage : Sonatrach-TRC-RTC, Mémoire Master*, Université de Bejaia, Département de Recherche Opérationnelle, 2021.
- [17] Y. Brakbi et G. Iguenaten, *Stratégie de maintenance imparfaite pour un système en dégradation*, Université de Béjaia, Département Génie Electrique, 2020.

- [18] F. Boukhezar, S. Hammouche, *Etude de Fiabilité de la Ligne de Fibre Optique Sonatrach RTC Béjaia-RTH, Mémoire Master, Université de Béjaia, 2016.*

Annexe 1

Présentation du logiciel EASYFIT :

On a utilisé le logiciel EasyFit statistique pour l'identification de ces lois. EasyFit : Logiciel d'ajustage de distributions :

EasyFit permet d'ajuster automatiquement les distributions aux données échantillon et de sélectionner le meilleur modèle en secondes. Il est conçu de façon à rendre l'analyse des donnée aussi facile que possible, laissant en coulisse les détails techniques compliqués et nous permettant ainsi de nous concentrer sur nos objectifs .

Les avantages de Easyfit :

Fait gagner du temps : réduit le temps d'analyses par rapport aux méthodes manuelles.

Empêche les erreurs d'analyses et nous aide à prendre de meilleures décisions.

Facile à apprendre et à utiliser : ne demande que les connaissances de base de la statistique.

EasyFit permet de sélectionner facilement et rapidement la distribution de probabilités

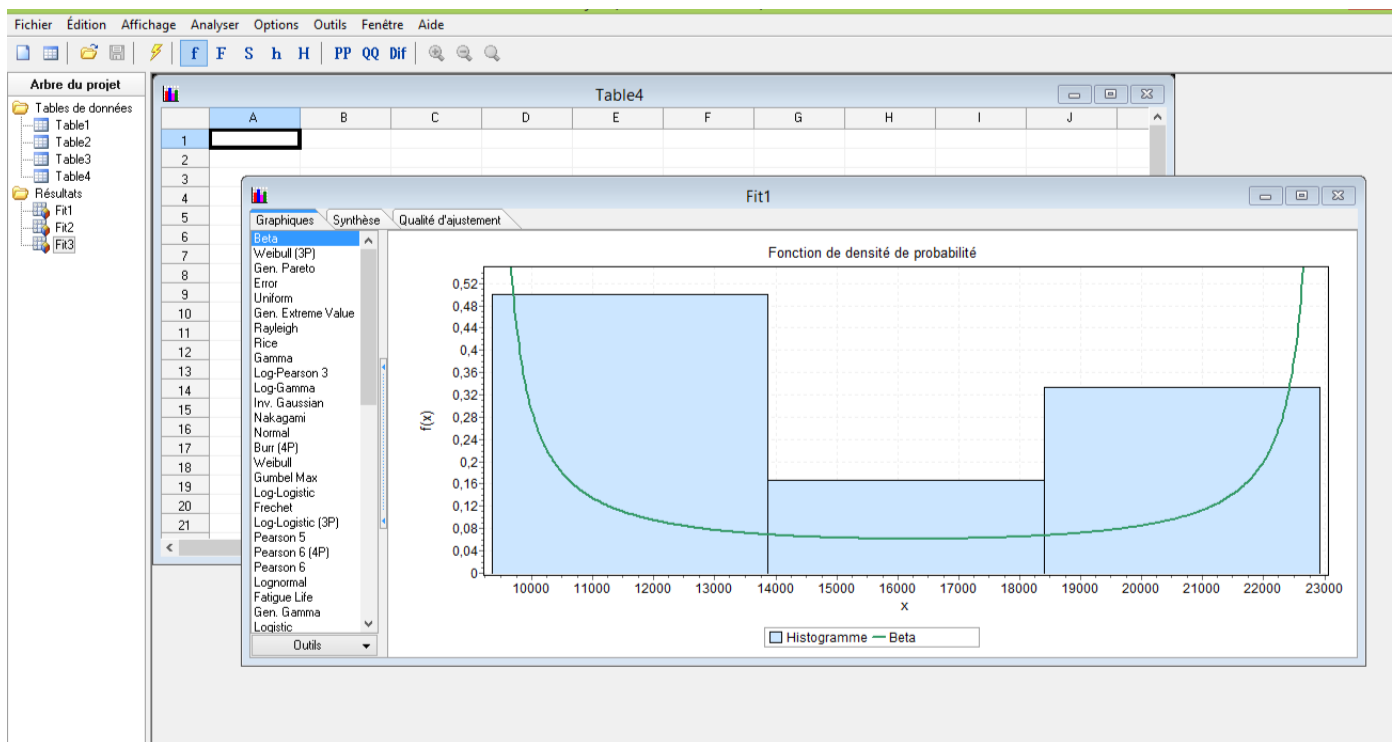


FIGURE 4.3 – L'interface de Easyfit partie ajustement

la mieux adaptée aux données. Ses fonctions clés comprennent :

— Prise en charge de plus de 59 distributions ;

- Mode d'ajustage de données puissant et automatisé ;
- Possibilité d'ajustage manuel de distributions ;
- Graphiques interactifs ;
- Tests de qualité d'ajustage ; L'environnement intégré fourni par EasyFit comprend gestion de données, analyse et possibilités d'afficher des rapports qui nous permettent d'organiser notre travail et le rendre plus productif. Ses nombreuses fonctions uniques font de cet outil puissant d'analyse de données une solution très flexible. Avec EasyFit nous pouvons :
 - Analyser nos groupes de données même s'ils sont très grands, développer de meilleurs modèles en appliquant des distributions avancées ;
- Prendre de bonnes et rapides décisions avec des rapports hypertextes. De plus, EasyFit permet de visualiser des graphiques de distributions et d'explorer leurs propriétés sans entrer les données, de générer des nombres aléatoires, de calculer la statistique descriptive, etc.

Annexe 2

Présentation du logiciel Matlab :

Matlab est un langage de script émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The Math-Works, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran.

Les utilisateurs de MATLAB (environ 4 millions en 20193) sont de milieux très différents tels que l'ingénierie, les sciences et l'économie, dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche.

Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des toolboxes (« boîte à outils »).

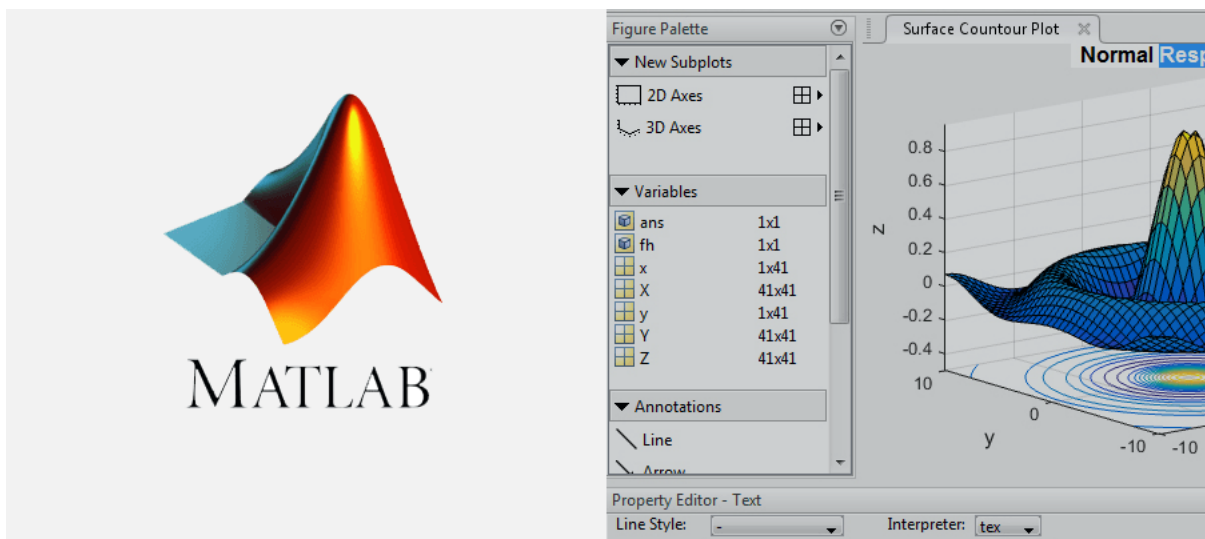


FIGURE 4.4 – Programme Matlab

Code source utiliser pour optimiser la fonction objective(Coût)

D'après notre programme on a trouvé le nombre de cycles optimale pour faire une révision général voir la figure(4.5).

```

1  function [Kopt]=KOPT2(a,c,p,r)
2      options = optimset('Display','iter');
3      [xval,yval]=fminbnd(@(kopt) costm2(kopt,a,c,p,r),1,8,options);
4      Kopt=[xval,yval];
5  end
6
7  function [cout,x,y] = costm2(k,a,c,p,r)
8
9      %%%%%%%%%paramètres
10     eta = 12958; beta = 2.7486; n=20000;
11     %%%%%%%%%coûts
12     % c=2000,000; % p=4000,000; % r=20,000000;
13
14     for T=1:n
15         h= (a.^k).*((k.*T-(k-1))./eta).^beta;
16         cout= ((c.*h+(k-1).*p)+r)./(k.*T);
17     end
18     y=min(cout);
19     x=min(y);
20 end

```

FIGURE 4.5 – Code source de nombre de cycle optimal K

Résumé

Au niveau de la Station de Pompage de l'oléoduc SP1Bis de la RTC Sonatrach, la mise en place d'un plan de maintenance préventive des Turbopompes TP01 et TP02 s'adapte aux stratégies de maintenance adoptées pour minimiser les coûts globaux. D'abord, notre modélisation est basée sur les lois de fiabilité et les modèles paramétrique.

Dans un premier temps nous avons étudié la fiabilité des Turbopompes TP01 et TP02 de la Station de Pompage. Puis, nous avons adopté une politique de maintenance préventive périodique imparfaite pour déterminer la période optimale des révisions partielles qui minimise le cout de la maintenance. Nous avons pris en considération l'efficacité de cette dernière. Afin d'optimiser la période des révisions générales.

Abstract

At the Pumping Station of the SP1Bis oil pipeline of the RTC Sonatrach, the implementation introduction of a preventive maintenance plan for the TP01 and TP02 Turbopumps adapts to the maintenance strategies adopted to minimize overall costs. First, our model This analysis is based on reliability laws and parametric models. Initially we studied the reliability of the Turbopumps TP01 and TP02 of the Pumping Station. Then, we adopted a preventive maintenance policy imperfect period to determine the optimum period for partial overhauls that mi- minimize the cost of maintenance. We took into consideration the effectiveness of this last nary. In order to optimize the period of general overhauls.

MOTS CLES :

RTC Sonatrach, Station de Pompage SP1Bis, Modélisation, Fiabilité, période optimale de révision.