

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Mémoire fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En Électromécanique, spécialité Maintenance Industrielle

Optimisation du plan de maintenance préventive de la conditionneuse

ROVEMA- SBS 250 au niveau de l'unité de conditionnement de sucre CEVITAL Bejaïa

Présenté par :

LAGGOUNE Ferhat

AHMANE Yassine

Membres de jury :

Président : Mr KABYL

Université de Bejaïa

Rapporteur : Mr AIT MOKHTAR

Université de Bejaïa

Examineur : Mr ZOUGAB

Université de Bejaïa

2022/2023

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience afin d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre promoteur Mr. AIT MOKHTAR EL HASSENE pour son encadrement.

Nous voudrions étendre cette gratitude a messieurs ZATOUI Azedine et Boudaoud amine pour leur accueil et suivie au sein de l'entreprise CEVITAL

Nous tenons également à remercier l'ensemble de membres de jury Mr ZOUGAB et Mr KABYL qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Un remerciement très spécial pour :

Mr R. LAGGOUNE, Mr B. CHERFAOUI et Mme L.MAY pour leurs encouragements, aide et ses conseils tout au long de ce mémoire.

Sans oublier nos amies Mlle. IDIR, Mlle. ISSADI pour leurs temps, encouragements et soutien

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation

sans exception.



Dédicaces

Avant tous je remercie mon Dieu qui m'a donnée la volonté de continuer mes études et faire ce modeste travail

Je tiens à dédier ce travail : A mon père BOULEM l'homme de ma vie, mon exemple, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir que dieu te garde.

A ma très chère maman RAHIMA en signe d'amour de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont elle à fait preuve à mon égard que DIEU tout puissant te donne longue vie, santé et bonheur.

A Mon frère adorés HAMZA qui est toujours Soutenu, encouragé et poussé à donner le meilleur de moi-même.

A mes très chères sœurs AKILA, SOUAD, SAMIRA et FATIHA ainsi qu'à leurs époux qui ont été toujours présent pour moi.

A mes grands parents que dieu les garde dans son vaste paradis

A mes proches et toute ma famille, et tous les gens qui m'aiment en particulier mes amies mes cousins et cousines

2022/2023

ferhat



Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail

A mes très chers parents qui ont été toujours à mes cotés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces années d'étude

A mes frères ; Zahir, Jigou et Hamza

A tout mes amis ; mounir, mohand, rahim, yanis tonton aimad ,kamel et amina

A toute l'équipe REBORN

Et a tout ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'achèvement de ce travail

2022/2023

yassine

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise et la conditionneuse	
1.1 Introduction	3
1.2 Présentation de l'entreprise CEVITAL	3
1.3 Historique et évolution.....	3
1.4 L'unité de conditionnement de sucre	4
1.5 Présentation de la conditionneuse	5
1.5.1. Principe de fonctionnement de la conditionneuse SBS250.....	6
1.5.1.1. Armoire électrique	6
1.5.1.2. La partie dosage.....	7
1.5.1.3. La partie VP.....	7
1.5.1.4. La partie BS.....	7
Conclusion	7
Chapitre 2 : Fiabilité et modèles de maintenance	
2.1. Introduction	8
2.2. Typologie et objectifs de la maintenance	8
2.2.1. Objectifs de la maintenance	8
2.2.2. Types de maintenance.....	8
2.2.2.1. Maintenance corrective.....	8
2.2.2.2 Maintenance préventive.....	9
2.3. Rappel sur la fiabilité.....	9
2.3.1. Définition de la Fiabilité.....	10
2.3.2. Fonctions statistiques utilisées en fiabilité	10
2.3.3. Lois de probabilité utilisées en fiabilité	11
2.3.3.1. Loi de Weibull	11
2.4. Modélisation d'efficacité de maintenance.....	11

Table des matières

2.4.1. Modèles de base d'efficacité de maintenance	12
2.4.1.1. Modèle de maintenance minimale	12
2.4.1.2. Modèle de maintenance parfaite.....	13
2.4.2. Modélisation de maintenance imparfaite.....	14
2.4.2.1. Modèle de Brown-Prochan.....	14
2.4.2.2. Modèles de réduction d'intensité de défaillance	15
2.4.2.2.1. Modèle de réduction aléatoire d'intensité de défaillance.....	15
2.4.2.2.2. Modèle de réduction fixe d'intensité de défaillance.....	16
2.4.2.2.3. Modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance.....	17
2.4.2.3. Modèles de réduction de l'âge virtuel.....	18
2.4.2.3.1. Modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel.....	19
2.4.2.4. Modèles hybrides.....	20
2.5. Présentation des politiques de maintenance	21
2.5.1. Politiques de maintenance des systèmes élémentaires (mono-composants).....	21
2.5.1.1. Politique de maintenance selon l'âge.....	21
2.5.1.2. Politique de maintenance en bloc.....	22
2.5.1.2.1. Politique de MP périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance.....	23
Conclusion	24
Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance	
3.1 Introduction.....	25
3.2 Choix de la politique pour l'optimisation.....	25
3.3. Choix des modèles	25
Conclusion	33

Table des matières

Chapitre 4 : Estimation des données et application

4.1.Introduction.....	35
4.2. Traitement de données	35
4.3. Estimation des paramètres de Weibull.....	35
4.3.1. Test de Kolmogorov-Smirnov.....	36
4.4. Estimation des coûts	37
4.5. Estimation des facteurs de réduction d'intensité de défaillance.....	38
4.6. Optimisation du coût total de la maintenance	39
4.6.1. Discussion des résultats	41
Conclusion	41
Conclusion générale.....	42

Table des matières

Liste des figures

Chapitre 1

Figure I.1- Différents modèles de sucre4

Figure I.2 -Vue générale du bâtiment5

Figure I. 3- Conditionneuse ROVEMA SBS256

Chapitre 2

Figure 2.1- Intensité de défaillance dans le cas de maintenance ABAO12

Figure 2.2 - Intensité de défaillance dans le cas de maintenance AGAN13

Figure 2.3 - Intensité de défaillance dans le modèle Brown-Proschan.....14

Figure 2.4 -Intensité de défaillance dans le modèle de réduction géométrique15

Figure 2.5 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction fixe16

Figure 2.6 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction aléatoire17

Figure 2.7 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel19

Figure 2.8 - Intensité de défaillance dans le modèle hybride20

Figure 2.9 - Principe de la politique de maintenance selon l'âge.....21

Figure 2.10 - Principe la politique de maintenance en bloc22

Chapitre 3

Figure 3.1- Chronogramme de la maintenance périodique imparfaite avec une réparation minimale à la défaillance.....23

Chapitre 4

Figure 4.1 - fonction d'intensité de probabilité.....33

Figure 4.2 - Ecart tolérable entre $F_{th}(t)$ et $F_i(t)$ 34

Figure 4.3 - Le coût total en fonction de temps selon le modèle arithmétique37

Figure 4.4 – Le coût total en fonction de temps selon le modèle géométrique38

Table des matières

Liste des tableaux

Tableau IV.1- Coût de préventif.....35

Tableau IV.2- Coût de correctif.....34

Table des matières

Symboles et notations utilisés

MP: Maintenance Préventive.

MC: Maintenance Corrective.

ABAO: As Bad As Old.

AGAN: As Good As New.

$R(t)$: La fonction de fiabilité.

$F(t)$: Fonction de répartition.

$f(t)$: Fonction de densité de probabilité.

$\lambda(t)$: Intensité de défaillance.

β : Paramètre de forme de la loi weibull.

η : Paramètre d'échelle de la loi weibull.

γ : Paramètre de position de la loi weibull.

δ : Facteur d'amélioration ou efficacité de maintenance.

T_{N_t} : Temps de défaillance.

N_t : Nombres de défaillance.

$E[N_d(T)]$: L'espérance du nombre de défaillance.

$E(T)$: L'espérance du coût total durant un cycle de renouvellement.

A_i : L'âge virtuel du système après la $i^{\text{ème}}$ action de maintenance.

$H(T)$: la fonction de hasard cumulé.

α : Le risque d'erreur de test Kolmogorov-Smirnov.

$C(T)$: Le coût de la maintenance par unité de temps.

C_c : Coût de la maintenance corrective.

C_p : Coût de la maintenance préventive.

C_{ov} : Coût d'une révision générale.

Introduction

Générale

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours le marché mondial est vraiment dans les hauts niveaux d'utilisation de technologie particulièrement le domaine de l'industrie.

Pour satisfaire le besoin de ce marché et à la concurrence économique qui devient de plus en plus sévère, les industries ont tendance à élargir leurs installations et leurs systèmes pour améliorer la production (qualité, quantité, et en peu de temps).

La maintenance est une nécessité pour les occidentaux que pour les pays en voie de développement. Elle est un enjeu économique considérable pour tous ceux qui souhaitent disposer d'outils de production performants, et les maintenir constamment en bon état.

Notre mémoire a pour ambition de fournir une démarche scientifique qui permettrait l'amélioration de la gestion des équipements. Il s'agit plus particulièrement de trouver la périodicité optimale de la maintenance préventive d'un système réparable. Pour cela, nous avons adopté une politique de maintenance préventive périodique avec réparation minimale à la défaillance, ensuite nous avons choisis deux modèles de réduction (arithmétique, géométrique) d'intensité de défaillance, Cette politique consiste à optimiser le coût de maintenance et d'avoir une périodicité optimale.

Notre travail est structuré comme suit :

Chapitre 1 :

Dans le premier chapitre, nous allons parler de l'historique de l'entreprise CEVITAL et ses multiples activités industrielles, ensuite nous passerons à la description de l'installation de l'unité de conditionnement de sucre (CDS) et les différentes parties de la conditionneuse et son principe de fonctionnement.

Chapitre 2 :

Dans ce chapitre, nous allons introduire les concepts principaux de la maintenance avec un rappel sur la fiabilité, les différents modèles d'efficacité et les politiques de maintenance.

Chapitre 3 :

Dans ce chapitre nous allons intégrer les modèles d'efficacité choisis dans la

Introduction générale

politique de maintenance préventive périodique avec réparation minimale à la défaillance, afin de construire un modèle de coûts dont la fonction objective est de minimiser les coûts de maintenance

Chapitre 4 :

Nous allons commencer par le traitement des données collectées pendant notre stage, dans le but d'estimer les paramètres nécessaires pour calculé la périodicité et le coût pour chaque modèle d'efficacité choisi, afin d'avoir le modèle d'efficacité le plus adéquat.

Chapitre 1

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler de l'historique de l'entreprise CEVITAL et ses multiples activités industrielles, ensuite nous passerons à définir les différentes parties de la conditionneuse ROVEMA type SBS250 et son principe de fonctionnement.

1.2. Présentation de l'entreprise CEVITAL

Le succès et la renommée du Groupe CEVITAL reposent sur une histoire, un parcours et des valeurs qui l'ont façonné en tant qu'entreprise familiale. Il est devenu la première entreprise privée algérienne à diversifier ses activités dans plusieurs secteurs, traversant ainsi des étapes historiques importantes pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelles.

Le Groupe CEVITAL s'est développé dans des domaines tels que l'industrie agroalimentaire, la grande distribution, l'électronique, l'électroménager, la sidérurgie, l'industrie du verre plat, la construction industrielle, l'automobile, les services et les médias. Au fil des investissements, il a poursuivi l'objectif solide de former un ensemble économique cohérent.

Avec une équipe de 18 000 employés répartis sur 3 continents, le Groupe CEVITAL est un symbole de l'économie algérienne et s'engage constamment dans la création d'emplois et de richesse.

1.3. Historique et évolution

CEVITAL est une société par actions (SPA) dont les principaux actionnaires sont M. Rebrab et ses fils. Elle occupe une place de premier plan dans l'industrie agroalimentaire en Algérie, avec plusieurs unités de production équipées de technologies de pointe. L'entreprise poursuit son développement à travers divers projets en cours de réalisation. Fondée en mai 1998, elle dispose d'un capital social fixé à 68,760 milliards de DA. Son site est situé dans le nouveau quai du port de Bejaia, couvrant une superficie de 76 156 m².

Grâce à son emplacement stratégique, CEVITAL bénéficie de relations facilitées avec son environnement. Voici quelques dates marquantes de son histoire :

En 1998, le complexe CEVITAL a commencé ses activités avec le conditionnement de l'huile en décembre.

En 1999, la raffinerie d'huile d'une capacité de production de 570 000 tonnes par an a été mise en service, et la première marque d'huile de table de haute qualité, entièrement composée de tournesol, a été lancée sous le nom de "FLEURIAL".

En 2001, la margarinerie a commencé sa production avec une capacité de 180 000 tonnes par an, accompagnée du lancement de la première marque de margarine de table appelée

"FLEURIAL".

En 2003, la raffinerie de sucre a été mise en service, produisant 650 000 tonnes par an de sucre blanc et 25 000 tonnes par an de sucre liquide. En même temps, la margarine spécialement conçue pour le feuilletage, baptisée "LA PARISIENNE", a été lancée pour les boulangeries-pâtisseries.

1.4. L'unité de conditionnement de sucre

Le conditionnement du sucre est une étape essentielle dans sa préparation pour le marché. Le processus de conditionnement implique diverses étapes soigneusement orchestrées pour garantir la qualité, la quantité et la facilité de transport du sucre. Permettez-moi de vous guider à travers les différentes étapes de ce processus.

Tout commence par le transport du sucre depuis les silos de stockage vers l'unité de conditionnement. Des tapis roulants spéciaux assurent un cheminement fluide jusqu'à destination. Une fois arrivé, le sucre est soigneusement versé dans des trémies. Ces trémies ont été conçues pour augmenter la capacité de stockage et sont au nombre de sept. Elles sont équipées de cellules de dégazage qui permettent leur ouverture et leur fermeture automatiques lors du déversement du sucre.

Chaque trémie est associée à une ligne de production, et chaque ligne est équipée de quatre conditionneuses. Les conditionneuses sont dotées de peseuses pondérales précises qui mesurent des doses de sucre d'un kilogramme. À une cadence impressionnante de 70 sacs par minute, le sucre est pesé et emballé avec précision.

L'unité de conditionnement dispose de différentes lignes de production pour répondre aux besoins de divers formats d'emballage. Il y a quatre lignes dédiées aux sacs d'un kilogramme, deux lignes pour les sacs de 5 kilogrammes, une ligne pour les sacs de 10 kilogrammes, et une autre pour les sacs de 25 kilogrammes. Chaque sac est rempli et emballé par une machine d'ensachage, également appelée conditionneuse. Donc voici quelques modèles de ce produit :



Figure 1.1- Différents modèles de sucre

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise et la conditionneuse

Après avoir été emballés, les sacs de sucre suivent un parcours sur des convoyeurs. Ensuite, ils passent par une fardeleuse qui les enveloppe dans un film plastique thermo-rétractable, formant ainsi des packs pratiques et résistants. Finalement, les packs de sacs de sucre sont triés et calibrés par un palettiseur. Ce dernier les dispose soigneusement sur des palettes, prêts à être transportés avec facilité et efficacité.

Le processus de conditionnement du sucre est une véritable symphonie de précision et d'automatisation, garantissant que le sucre atteigne les consommateurs dans un état optimal, offrant praticité et fraîcheur à chaque étape du processus.

Le bâtiment où se déroule le conditionnement du sucre est assez grand, il mesure 1131.9 mètres carrés. À l'intérieur, il y a un total de 430 employés qui travaillent dans différents services, tels que la production, la maintenance et les expéditions.

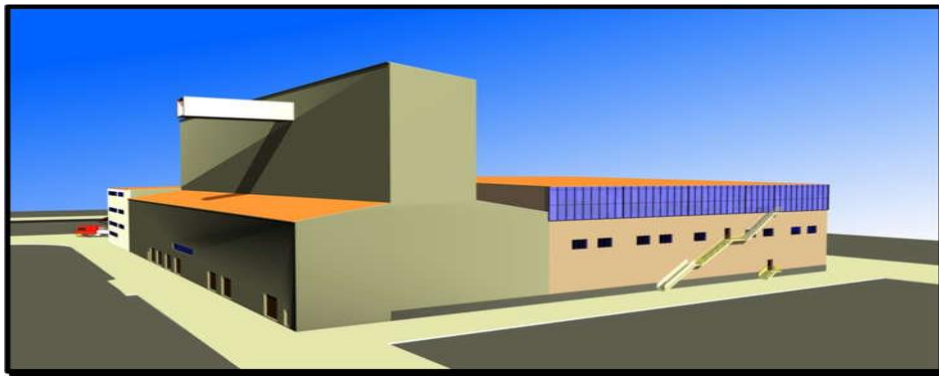


Figure 1.2 -Vue générale du bâtiment

1.5. Présentation de la conditionneuse

Les machines de conditionnement sont utilisées pour emballer différents produits tels que le sucre et les légumes secs. Elles sont spécialement conçues en fonction des besoins du client et des caractéristiques du produit à emballer. Les conditionneuses de la marque ROVEMA, de type SBS250, sont spécialement conçues pour emballer le sucre cristallisé. Elles sont capables de mettre en sachet des paquets de sucre d'1 kg à une cadence élevée d'environ 75 sacs par minute, ce qui en fait des machines très performantes pour les grandes productions. Ces machines sont équipées d'un écran tactile couleur pour une utilisation simple et intuitive. De plus, elles disposent d'un système de diagnostic automatique qui permet de détecter rapidement d'éventuels problèmes de la machine.



Figure 1. 3- Conditionneuse ROVEMA SBS25 [1].

1.5.1. Principe de fonctionnement de la conditionneuse SBS250

La conditionneuse SBS250 est composé de plusieurs parties, on va expliquer les différentes parties principales de la machine :

1.5.1.1. Armoire électrique

Est un boîtier robuste utilisé pour protéger les composants électriques ou électroniques et les appareillages de commutation de cette machine, contient les différents systèmes participant à la distribution d'une installation électrique qui sont :

- Disjoncteur
- Contacteur
- Variateur de vitesse
- Relais thermique

- Transformateur
- Sectionneur porte fusible

1.5.1.2. La partie dosage

Juste au-dessus de la machine se trouve la partie de dosage. Elle comprend une peseuse pondérale de la marque HISHIDA. Son rôle est de fournir des doses de sucre en fonction des besoins, comme 1 kg, 2 kg, 5 kg, etc., avec une grande précision d'environ 0.001 gramme. La peseuse est équipée de six bennes où le sucre est versé, ainsi que d'une benne de synchronisation qui ajuste automatiquement le poids [1].

1.5.1.3. La partie VP

Cette machine sert à créer le sac et à le remplir. Elle est composée d'un dérouleur de film qui guide le film selon un chemin précis vers une cravate, où le film est plié pour former le sac. Le sac prend la forme du tube de remplissage et une fois que la base est soudée grâce aux mâchoires verticales et horizontales ainsi qu'aux plieuses latérales, il est prêt à être rempli. Une dose de sucre est versée dans le sac, puis le couteau de coupe fait tomber le sucre dans la goulotte vibrante [1].

1.5.1.4. La partie BS

Après avoir été versé de la goulotte de tassage, le sac passe directement sur le vibreur BS, qui permet de compacter le produit à l'intérieur du sac. Ensuite, le sac est acheminé par une chaîne BS vers les guides qui le façonnent en tête de sac, puis il se dirige vers la station de soudage BS. À cette étape, la tête du sac est soudée et l'excédent de film est évacué pour être recyclé en tant que déchet. Enfin, le sac sort par la chaîne de sortie et est dirigé vers une trieuse pondérale pour un contrôle du poids. En utilisant un convoyeur, le sac est ensuite transféré vers la fardeleuse pour la suite du processus [1].

Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé de donner une présentation générale de la conditionneuse ROVEMA SBS250, et ses caractéristique technique et son mode de fonctionnement et décrire le procès de conditionnement sac de sucre.

Chapitre 2

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser aux concepts de base de la maintenance et un rappel sur la fiabilité, ensuite nous allons exprimer les différents modèles d'efficacité de maintenance. Pour conclure ce chapitre, nous abordons les différentes politiques de maintenance.

2.2. Objectifs et typologie de la maintenance

La norme AFNOR (NF X 60-010) définit la maintenance comme étant : « ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » [2].

La maintenance a pour objectif d'assurer le bon fonctionnement des équipements de production en veillant spécialement à leur sécurité et à leur disponibilité. Elle vise à anticiper et à prévenir les défaillances du système afin de prolonger la durée de vie des équipements et des systèmes, ce qui optimise son efficacité.

2.2.1. Objectifs de la maintenance

Les équipes de maintenance se fixent pour objectif de préserver les installations de production dans un état optimal, avec pour impératifs la maximisation du rendement global et l'optimisation des coûts. Afin d'atteindre une efficacité maximale, il est essentiel de mettre en œuvre des mesures préventives visant à éviter les pannes, de respecter rigoureusement les cadences de production et de poursuivre l'amélioration continue de la qualité des produits. L'idée de maintenance ne se réduit plus à une réaction passive face aux pannes, mais implique plutôt une maîtrise proactive des défaillances par le biais d'une optimisation de la politique de maintenance, d'une mise en place adéquate de mesures préventives, de réparations rapides et efficaces, ainsi que de l'amélioration du matériel utilisé [3].

2.2.2. Types de maintenance

La maintenance se divise en deux classes :

2.2.2.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective est une "maintenance effectuée après détection d'une défaillance et destinée à rétablir un bien à un état fonctionnel requis. La maintenance corrective se divise en deux types :

- **Maintenance palliative**

La maintenance palliative est temporaire et vise à dépanner le système pour lui permettre d'assurer partiellement les fonctions requises [4].

- **Maintenance curative**

La maintenance curative consiste à réparer définitivement le système afin qu'il puisse remplir ses fonctions requises. Elle peut être effectuée immédiatement après l'arrivée d'une défaillance ou après une première intervention de dépannage [4].

2.2.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive (MP) consiste à effectuer des actions de maintenance à des intervalles prédéterminés ou en fonction de critères spécifiques, dans le but de réduire les risques de défaillance ou de détérioration du fonctionnement d'un bien [4].

La MP se divise en deux types :

- **Maintenance systématique**

La maintenance systématique est "une maintenance préventive effectuée à des intervalles prédéfinis ou sur la base d'un nombre défini d'unités utilisées, mais sans inspection préalable de l'état de l'actif". Il s'agit donc d'une maintenance régulière qui consiste à remplacer un certain nombre de composants préalablement définis même s'il n'y a aucun signe de panne [4].

- **Maintenance conditionnelle**

La maintenance conditionnelle est une "maintenance préventive basée sur la surveillance des paramètres vitaux du fonctionnement de l'actif et/ou de l'intégration résultant des opérations". Également appelée maintenance prédictive, cette forme de maintenance est conditionnée à la survenance d'une classe d'événements prédéterminés qui révèlent l'état de fonctionnement du système (c'est-à-dire des données de capteurs, des mesures d'usure, des résultats de diagnostic, etc.). [4].

2.3. Rappel sur la fiabilité

La fiabilité évalue la capacité d'un système ou d'un équipement à fonctionner comme prévu avec une probabilité de zéro défaillance dans des conditions spécifiques pendant une période déterminée.

2.3.1. Définition de la Fiabilité

Selon AFNOR (NF-X 60-010), la fiabilité est la caractéristique d'un système exprimé par la probabilité qu'il accomplisse la fonction pour laquelle il a été conçu dans des conditions données et pendant une durée donnée [2].

2.3.2. Fonctions statistiques utilisées en fiabilité

La défaillance d'un dispositif survient de manière imprévisible et aléatoire. On peut considérer cela comme une variable aléatoire, où chaque valeur de cette variable est associée à une probabilité. Cette relation entre la variable aléatoire et les probabilités qui lui sont associées constitue une loi de probabilité [5].

- **Fonction de fiabilité**

La fiabilité à un moment précis t , représente la probabilité que le système n'ait pas subi de défaillance pendant sa durée de vie T . Autrement-dit, c'est la probabilité de fonctionner sans défaillance pendant la période $[0, T]$. On peut exprimer la fonction de fiabilité (ou de survie), notée $R(t)$:

$$R(t) = P(T > t) \quad (\text{II.1})$$

- **Fonction de répartition**

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

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (\text{II.2})$$

- **Densité de probabilité**

La fonction de densité de probabilité, notée $f(t)$, représente la probabilité de défaillance d'un dispositif à l'instant t . Elle est donnée par :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{II.3})$$

- **Taux de défaillance**

Le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ est la mesure de la probabilité qu'une entité perde sa capacité à accomplir sa fonction pendant un intervalle de temps $[t, t + dt]$, sachant qu'elle a

fonctionné entre $[0, t]$.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{II.4})$$

2.3.3. Lois de probabilité en fiabilité

La fiabilité d'un système réparable est caractérisée par la loi de probabilité de sa durée de bon fonctionnement. Les lois de probabilité les plus utilisées en fiabilité sont la loi exponentielle qui est utilisée couramment dans le domaine l'électronique et la loi de Weibull [5].

2.3.3.1. Loi de Weibull

La loi de Weibull est basée sur l'hypothèse d'un taux de défaillance qui varie de manière exponentielle avec le temps. La loi de Weibull est flexible et peut être utilisée pour représenter les différentes phases de vie d'un dispositif. Elle joue un rôle important dans le domaine mécanique en permettant de modéliser les caractéristiques de défaillance de manière précise et adaptée [5].

La loi de Weibull est caractérisée par :

— La fiabilité : $R(t) = e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^\beta}$ (II.5)

— La densité de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} (\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta-1} e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^\beta}$ (II.6)

— Le taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} (\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta-1}$ (II.7)

— La durée de vie moyenne : $MUT = (\gamma + \eta)\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ (II.8)

La distribution de Weibull dépend de trois paramètres qui sont :

Le paramètre de forme β , le paramètre d'échelle η et paramètre de localisation γ .

Sachant que : $\beta > 0$, $\eta > 0$ et $\gamma \in \mathbb{R}$.

2.4. Modélisation d'efficacité de maintenance

Les systèmes industriels complexes nécessitent des opérations de maintenance préventive et corrective tout au long de leur durée de vie pour assurer leur fonctionnement et respecter les exigences de sûreté de fonctionnement. L'efficacité de ces opérations de maintenance joue un rôle essentiel dans la fiabilité des systèmes. Les approches traditionnelles

supposent soit une maintenance inefficace, soit une remise à neuf complète des équipements. Cependant, la première hypothèse est trop pessimiste, tandis que la seconde ne s'applique pas aux systèmes composés de plusieurs composants. Le remplacement d'un composant permet de rajeunir le système global, mais ne le remet pas à neuf intégralement. Pour une gestion de maintenance efficace, il est crucial de modéliser de manière réaliste les effets des opérations de maintenance sur les systèmes complexes réparables.

2.4.1. Modèles de base d'efficacité de maintenance

De manière classique, les interventions de maintenance (préventives ou correctives) sont considérées comme étant soit inefficaces, soit comme ramenant le système à son état neuf.

2.4.1.1. Modèle de maintenance minimale

Dans ce modèle les interventions de maintenance ramènent le système à l'état où il se trouvait juste avant l'intervention. Dans ce cas, l'effet de la maintenance est nul (elle ne dégrade ni n'améliore le système). Le système après l'opération de maintenance est qualifié de "As Bad As Old (ABAO)" en anglais, ce qui signifie qu'il est aussi dégradé que s'il avait vieilli normalement sans l'intervention.

La fonction d'intensité de défaillance du système dans le cas de la maintenance (ABAO) ne dépend que du temps et peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) \quad (\text{II.9})$$

où $\lambda_0(t)$ représente la fonction d'intensité de défaillance initiale avant d'effectuer une action de maintenance [6].

L'allure de la fonction d'intensité de défaillance d'un système dans le cas d'une maintenance (ABAO) est représentée sur la figure (2.1).

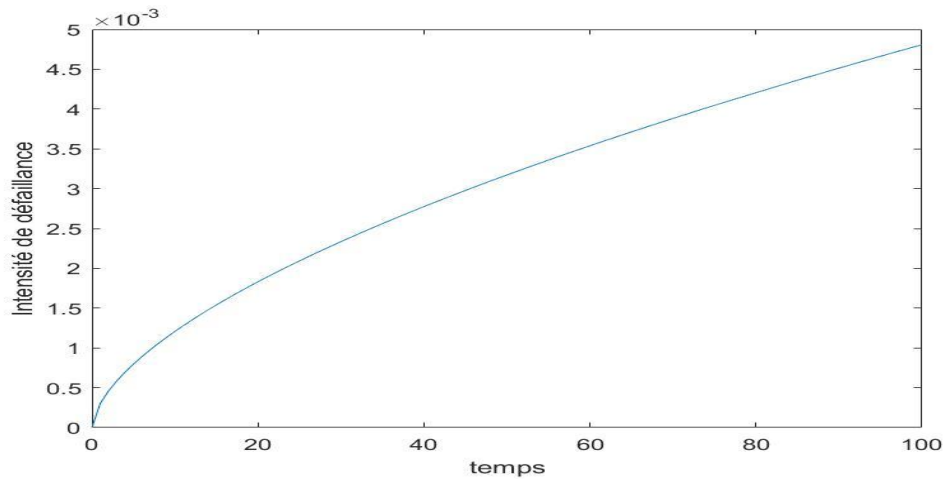


Figure 2.1- Intensité de défaillance dans le cas de maintenance ABAO (selon la loi de Weibull pour $\beta = 1.6$ et $\eta = 212$).

2.4.1.2. Modèle de maintenance parfaite

Le modèle de maintenance parfaite stipule que toutes les interventions de maintenance ramènent le système à son état initial neuf. Dans cette situation, l'effet de la maintenance est maximal. Le système après une intervention de maintenance est décrit comme étant "As Good As New (AGAN)" en anglais, c'est-à-dire qu'il est aussi performant que s'il était neuf.

Considérons que le système reçoit des actions de maintenance à des instants successifs notés T_i pour $i = 1, 2, \dots, I$. La fonction d'intensité de défaillance, à un instant $t \in]T_i, T_{i+1}[$ dans le cas d'une maintenance AGAN, s'écrit comme suit :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t - T_i) \quad (\text{II.10})$$

L'allure de la fonction d'intensité de défaillance d'un système dans le cas d'une maintenance (AGAN) est représentée sur la figure (2.2) . Les actions de maintenance parfaite sont effectuées aux instants correspondant aux sauts d'intensité de défaillance [6].

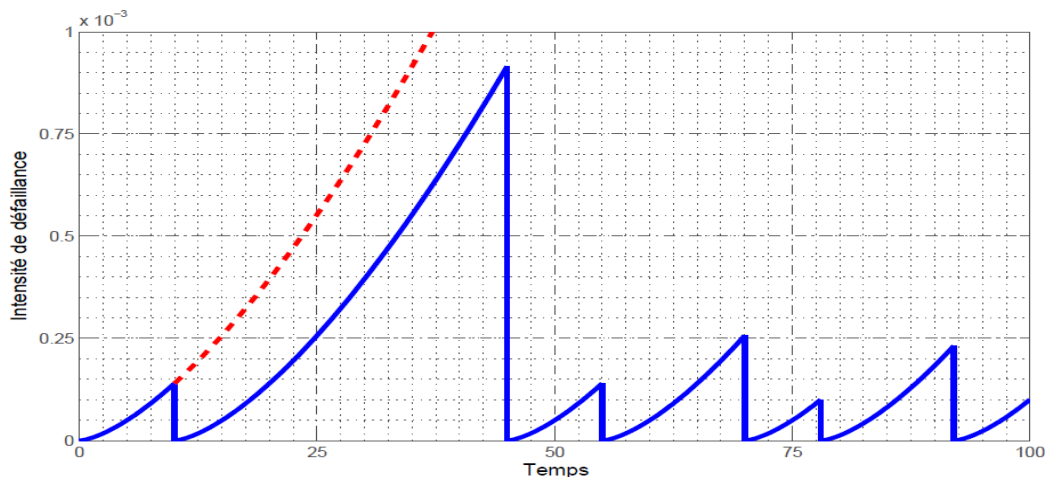


Figure 2.2 - Intensité de défaillance dans le cas de maintenance AGAN (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$ et $\eta = 200$) [6].

2.4.2. Modélisation de maintenance imparfaite

Lorsqu'on effectue des actions de maintenance sur des systèmes complexes, il est difficile de les assimiler aux modèles de base (ABAO ou AGAN). En pratique, les interventions de maintenance peuvent impliquer le remplacement d'un ou plusieurs composants, des réglages, des rectifications, etc. Par conséquent, l'état du système après la maintenance ne peut pas être identique à celui d'avant, car des changements ont été effectués. On peut dire que le système est dans un état amélioré par rapport à son état précédent, mais ces actions de maintenance ne peuvent pas le ramener à un état neuf, qui nécessiterait le renouvellement de tous les composants du système. Ainsi, le terme "maintenance imparfaite" est utilisé dans la littérature pour décrire ce type de maintenance [6].

2.4.2.1. Modèle de Brown-Prochan

Le modèle BP (Brown-Prochan), l'un des premiers modèles d'efficacité de maintenance étudiés dans la littérature, se fonde sur deux hypothèses fondamentales :

- Les actions de maintenance sont réalisées à des instants indépendants les uns des autres, et leurs effets sont indépendants de ces instants.
- Le système après maintenance est dans un état AGAN avec une probabilité p et ABAO avec une probabilité $1 - p$.

À partir de ces postulats, Le modèle de Brown-Prochan intègre à la fois le modèle de maintenance minimale lorsque $p = 0$ et le modèle de maintenance parfaite lorsque $p = 1$.

La courbe de l'intensité de défaillance associée à ce modèle est illustrée sur la Figure 4, où les moments de maintenance ABAO sont indiqués par des carrés sur l'axe horizontal et les moments de maintenance AGAN correspondent aux sauts d'intensité de défaillance [6].

La figure (2.3) montre la courbe de la fonction d'intensité de défaillance dans le modèle de Brown-Prochan

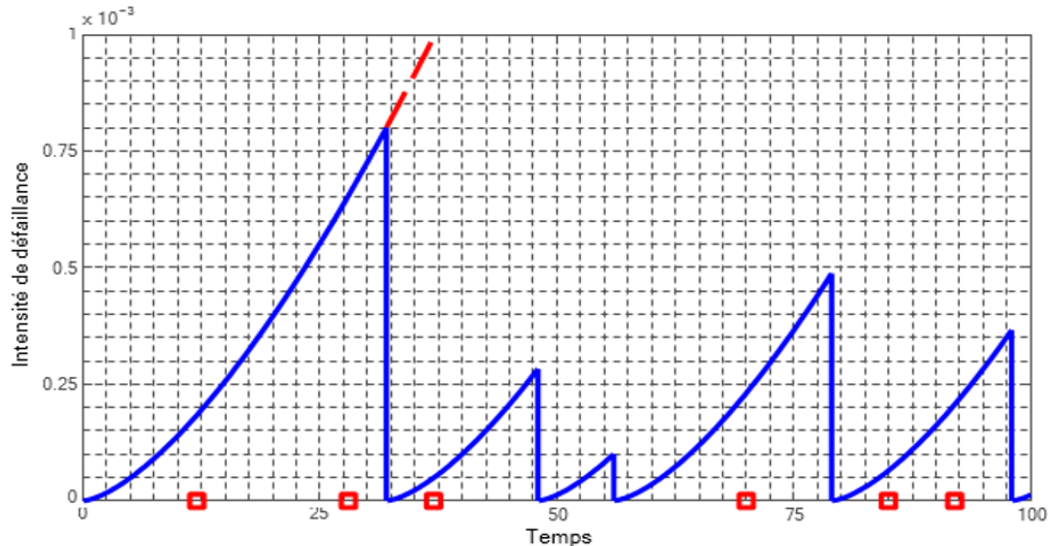


Figure 2.3 - Intensité de défaillance dans le modèle Brown-Prochan (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$, $\eta = 200$ et $p = 0.5$) [6].

2.4.2.2. Modèles de réduction d'intensité de défaillance

Pour ce modèle, comme son nom l'indique, l'effet de ce dernier est de réduire l'intensité de défaillance, et cette réduction peut être arithmétique ou géométrique.

2.4.2.2.1. Modèle de réduction aléatoire d'intensité de défaillance

Ce modèle considère que, en raison de l'environnement dans lequel les actions de maintenance sont effectuées et des contraintes rencontrées lors des interventions, il est difficile de prévoir un effet contrôlé des actions de maintenance. Par conséquent, la quantité de réduction d'intensité de défaillance peut varier d'une action de maintenance à une autre. Le modèle est décrit par l'expression suivante :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) - \sum_{i=0}^{IM} \delta_i \quad (\text{II.11})$$

Sachant que $\delta_0 = 0$ et δ_i qui représente la quantité de réduction d'intensité de défaillance de la $i^{\text{ème}}$ action de maintenance, doit vérifier la condition suivante :

$$0 \leq \delta_i \leq \lambda_0(T_i) - \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j \quad (\text{II.12})$$

La figure (2.4) représente la courbe de la fonction d'intensité de défaillance associée à ce modèle. On peut observer qu'il n'y a aucune tendance claire en ce qui concerne la quantité de réduction d'intensité de défaillance.

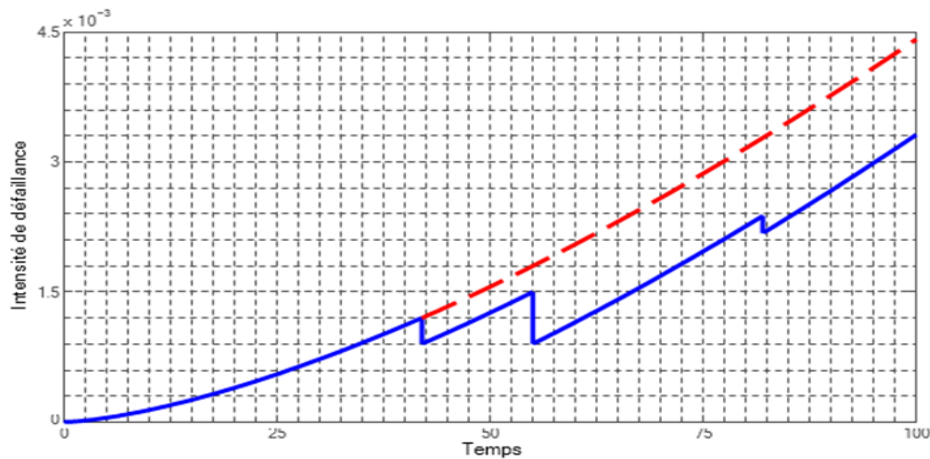


Figure 2.4 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction aléatoire d'intensité de défaillance (modèle de Weibull : $\beta = 2.5$, $\eta = 200$, $\delta_1 = 3.10^{-4}$, $\delta_2 = 6.10^{-4}$ et $\delta_3 = 2.10^{-4}$ [6].

2.4.2.2.2. Modèle de réduction fixe d'intensité de défaillance

Ce modèle est basé sur les hypothèses suivantes :

- Les actions de maintenance préventive peuvent être planifiées à l'avance,
- Tous les équipements nécessaires à leur exécution sont disponibles,
- La nature répétitive des actions permet à l'équipe de maintenance de les maîtriser et de les contrôler.

Par conséquent, ce modèle suppose que l'effet des actions de maintenance préventive et la quantité de réduction d'intensité de défaillance sont identiques. L'intensité de défaillance de ce modèle après la $i^{\text{ème}}$ action de maintenance préventive est exprimée par :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) - \delta i \quad (\text{II.13})$$

Sachant que pour tout $i = 1, 2, \dots, I$, $\lambda_0(t) - \delta i \geq 0$

La figure (2.5) montre la courbe de la fonction d'intensité de défaillance, indiquant une réduction équivalente pour toutes les actions de MP.

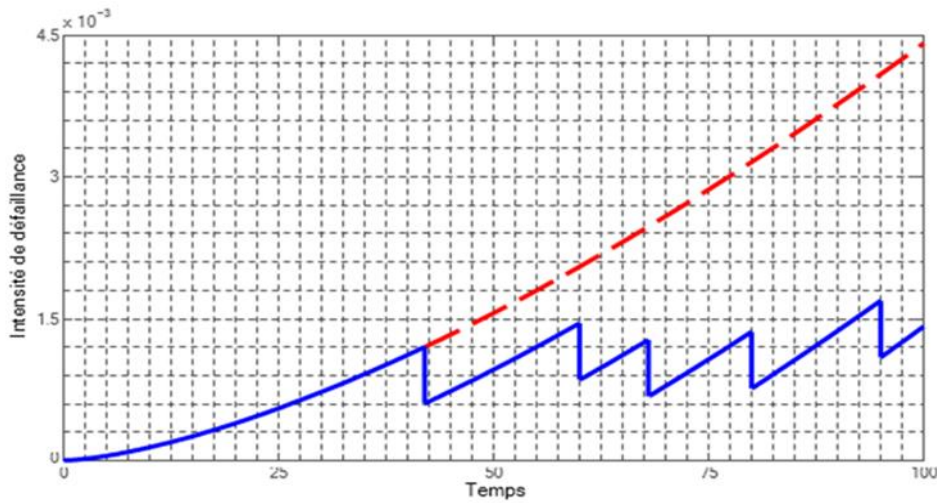


Figure 2.5 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction fixe d'intensité de défaillance (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$, $\eta = 200$ et $\delta = 6.10^{-4}$) [6].

2.4.2.2.3. Modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance

La sous-classe de modèles de réduction géométrique d'intensité de défaillance est basée sur le processus de quasi-renouvellement. Après une action de maintenance imparfaite, la fonction d'intensité de défaillance du système est multipliée par un facteur de réduction α , sachant que $0 < \alpha < 1$. Ainsi, après la première action de maintenance imparfaite, la fonction d'intensité de défaillance devient : $\lambda(t) = \alpha\lambda_0(t)$, après la deuxième action de maintenance imparfaite, elle devient : $\lambda(t) = \alpha^2\lambda_0(t)$, l'intensité de défaillance de ce modèle après la $i^{ème}$ action de maintenance s'écrit :

$$\lambda(t) = \alpha^i \lambda_0(t) \tag{II.14}$$

La figure (2.6) démontre que ce modèle a un double effet sur la courbe d'intensité de défaillance. Il y a un effet immédiat car la courbe d'intensité de défaillance après la maintenance imparfaite débute à un niveau inférieur à celui précédant l'intervention. De plus, il y a un effet à long terme car le taux de dégradation (ou vieillissement) du système est différent de celui avant l'intervention.

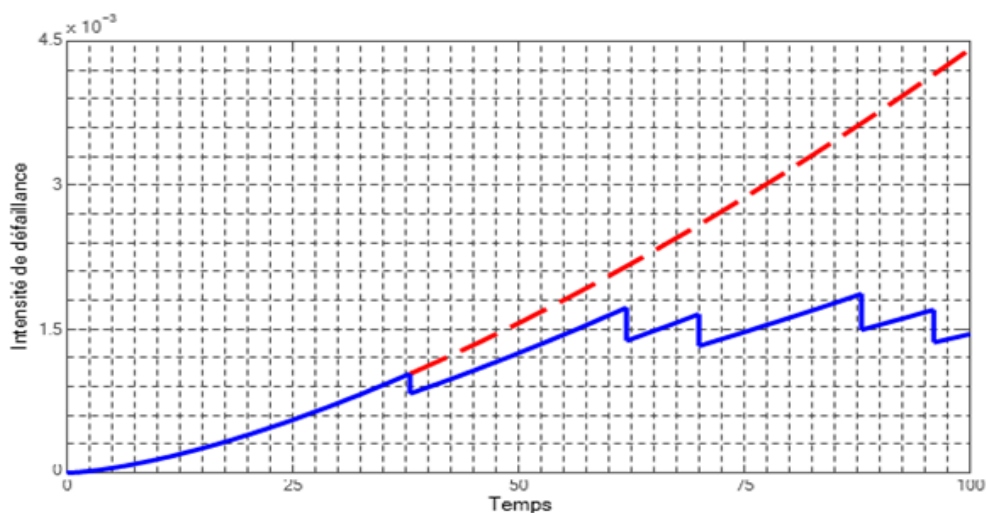


Figure 2.6 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$, $\eta = 200$ et $\alpha = 0.8$) [6].

2.4.2.3. Modèles de réduction de l'âge virtuel

Le concept de l'âge virtuel propose qu'après une maintenance imparfaite, l'âge d'un système soit réduit à t/Δ , où t représente l'âge initial et Δ est un facteur de réduction. Cette idée a été mathématiquement définie en 1988 par kijima, morimora et suzuki en considérant que le système se comporte comme s'il était neuf après chaque maintenance, avec un âge virtuel A_i correspondant à la durée de fonctionnement sans panne après cette intervention. Après la $i^{\text{ème}}$ action de maintenance, l'intensité de défaillance s'écrit :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t - T_i + A_i) \quad (\text{II.15})$$

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

L'expression mathématique utilisée nous permet de comprendre que l'action de maintenance a pour effet de ramener la fonction d'intensité de défaillance du système à l'instant t égal à celle à l'instant $t - (T_i + A_i)$. En d'autres termes, la maintenance a pour effet de rajeunir le système. En effet, l'âge réel du système est t , tandis que son âge virtuel est égal à $t - (T_i + A_i)$.

Dans ces modèles, l'efficacité de la maintenance est liée à l'âge du système, et la quantité de réduction de l'âge reflète l'effet de la maintenance. Le modèle ABAO maintient l'âge virtuel égal à l'âge réel après la maintenance $A_i = T_i$, tandis que le modèle AGAN

2.4.2.3.1. Modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel

Selon ce modèle, on considère que l'efficacité de la maintenance est constante.

Le facteur p , également connu sous le nom de facteur d'amélioration, représente le paramètre de réduction de l'âge virtuel. La formule de la fonction d'intensité de défaillance pour ce modèle est :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t - pT_i) \quad (\text{II.16})$$

L'allure de la fonction d'intensité de défaillance correspondant à ce modèle est représentée sur la figure(2.7)

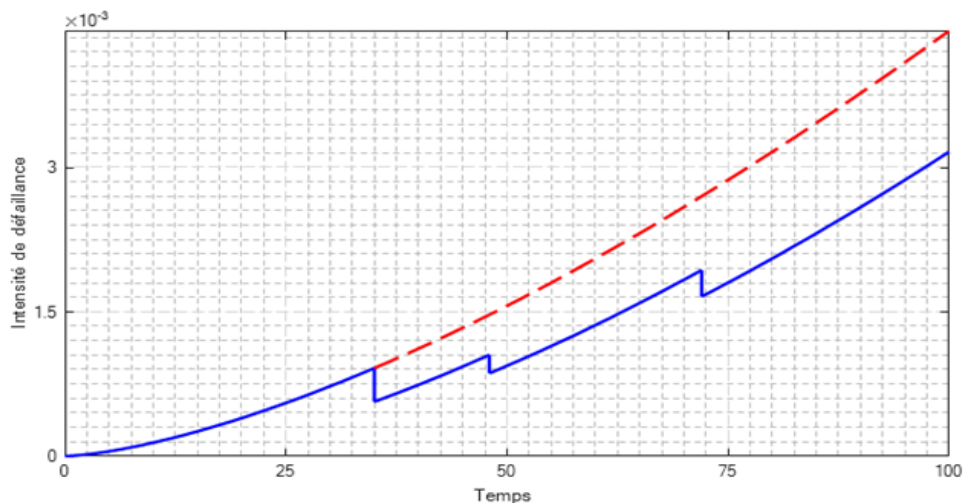


Figure 2.7 - Intensité de défaillance dans le modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$, $\eta = 200$ et $\rho = 0.2$) [6].

La variation du facteur p permet de nous retrouver les modèles suivants :

Maintenance parfaite (AGAN) : $p = 1$;

Maintenance imparfaite (efficace) : $p \in]0,1[$;

Maintenance minimale (ABAO) : $p = 0$;

Maintenance nuisible : $p < 0$.

2.4.2.4. Modèles hybrides

Les modèles hybrides combinent les deux classes de réduction d'intensité de défaillance, mais avec des hypothèses différentes. Dans ces modèles une action de maintenance imparfaite a un effet positif sur l'âge en réduisant l'âge virtuel, mais elle n'arrête pas l'évolution de la dégradation du système. Après une action de maintenance, la courbe d'intensité de défaillance ne suit pas parallèlement la courbe initiale, ce qui signifie que la dégradation continue malgré l'intervention. La classe hybride combine le modèle de réduction de l'âge virtuel avec le modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance. Après chaque action de maintenance imparfaite, l'intensité de défaillance est calculée selon une formule suivante :

$$\lambda(t) = \alpha \lambda_0(t - b T_i) \quad (\text{II.17})$$

Où $T_i < t < T_{i+1}$, $0 < b < 1$ et $\alpha > 1$. Notons 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).

$\alpha > 1$ 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.

La figure (2.8) montre comment la courbe du taux de défaillance évolue dans différents scénarios.

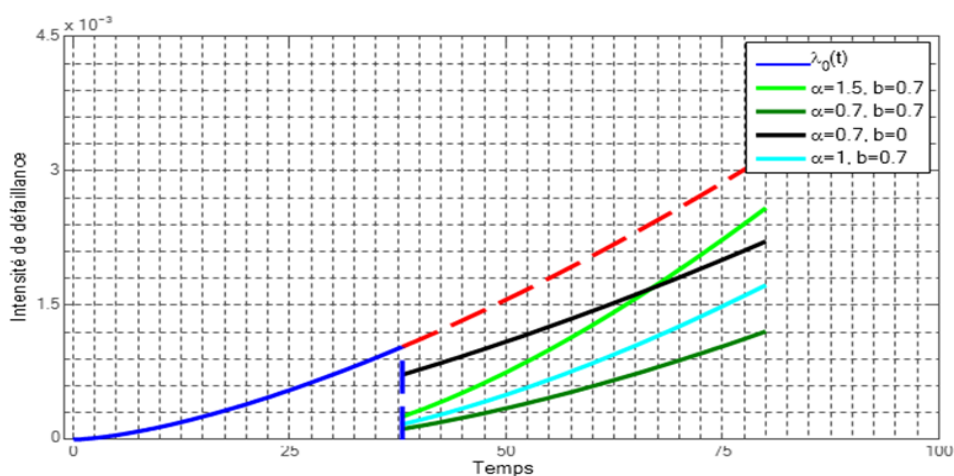


Figure 2.8 - Intensité de défaillance dans le modèle hybride (selon la loi de Weibull pour $\beta = 2.5$ et $\eta = 200$) [6].

2.5. Présentation des politiques de maintenance

Afin d'optimiser la maintenance d'un système réparable, il est essentiel de mettre en place une politique de maintenance appropriée.

Dans cette section, nous avons présenté quelques politiques de maintenance mono-composant appliquées aux systèmes réparables, ainsi que leurs principaux critères.

2.5.1. Politiques de maintenance des systèmes élémentaires (mono- composants)

Les systèmes élémentaires sont généralement des pièces détachées destinées à remplacer les composants défaillants. Lorsqu'une machine est composée de plusieurs sous-ensembles technologiques indépendants (comme un moteur électrique dans un convoyeur ou un vérin dans une presse hydraulique) ayant chacun leurs propres modes de défaillance, cet ensemble est appelé un groupe fonctionnel. Ce groupe fonctionnel est conçu pour accomplir une fonction spécifique [7]. La littérature sur les politiques de maintenance est vaste et il n'est pas possible de toutes les mentionner ici. Nous nous concentrons donc sur les politiques les plus courantes

2.5.1.1. Politique de maintenance selon l'âge

Prenons en compte une politique de remplacement basée sur l'âge, où une unité est remplacée à un moment fixe T après son installation ou en cas de défaillance. Dans ce scénario, les actions de maintenances préventive et corrective sont considérées comme parfaites, car le système est directement remplacé par un autre neuf [8].

La figure (2.9) montre le principe de la politique de maintenance selon l'âge.

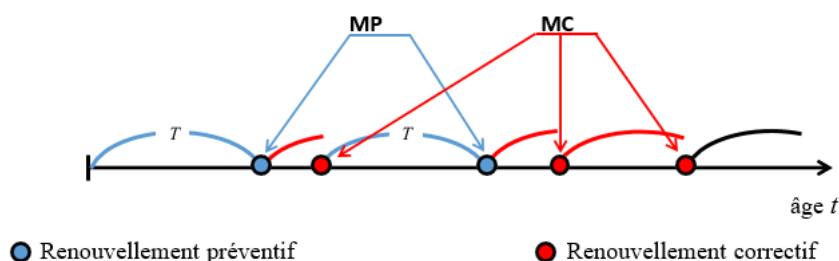


Figure 2.9 - Principe de la politique de maintenance selon l'âge [6].

L'espérance du coût total de maintenance dans ce modèle s'écrit comme suit :

$$C(T) = \frac{CcF(T) + CpR(T)}{\int_0^T R(t)dt} \quad (II.18)$$

2.5.1.2. Politique de maintenance en bloc

Cette politique est également connue sous le nom de politique de maintenance préventive périodique. Son nom est dérivé de la pratique courante consistant à remplacer un bloc ou un groupe d'unités dans un système à des moments prédéterminés. Ainsi, la stratégie de maintenance de type bloc implique soit un remplacement correctif des composants en cas de défaillance, soit un remplacement préventif à des intervalles de temps prédéterminés « $K * T$ » où $K = 1,2,3, \dots$ indépendamment de l'historique des pannes et de leur âge. Les remplacements sont effectués lors de défaillances intermédiaires, où T est un constant fixe [9].

La figure (2.10) montre le Principe de la politique de maintenance en bloc

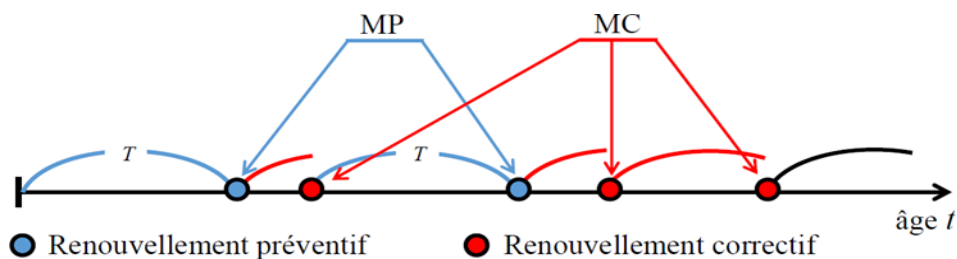


Figure 2.10 - Principe la politique de maintenance en bloc [6].

Dans cette politique, il existe trois modèles sont les suivants :

Modèle 1 :

Dans ce modèle, le système est régulièrement renouvelé à des intervalles de temps fixes T , qui restent constants, et est également renouvelé après une défaillance. Cependant, le principal inconvénient de ce modèle réside dans le fait que si le système subit une défaillance peu de temps avant l'intervalle T , il est remplacé à la suite de la défaillance, mais également peu de temps après une maintenance préventive périodique.

La fonction du coût par unité de temps dans ce modèle s'écrit :

$$C(T) = \frac{c_c E[N_d(T)] + c_p}{T} \quad (II.18)$$

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

Modèle 2 :

Dans le deuxième modèle, le système est renouvelé immédiatement après la survenue d'une défaillance. L'avantage de ce modèle réside dans le fait que les défaillances ne sont détectées qu'au moment des opérations de maintenance préventive.

La fonction du coût par unité de temps dans ce modèle s'écrit :

$$C(T) = \frac{C_c F(t) + C_p}{T} \quad (\text{II.20})$$

Modèle 3 :

Dans ce modèle, les défaillances du système sont détectées en temps opportun et réparées, mais elles n'ont aucun effet sur le processus de dégradation du système, ce qui signifie qu'une maintenance corrective minimale est requise.

La fonction du coût par unité de temps dans ce modèle s'écrit :

$$C(T) = \frac{C_c H(T) + C_p}{T} \quad (\text{II.21})$$

où $H(T)$ est "le taux de hasard cumulé" .

2.5.1.2.1. Politique de MP périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance

Cette politique est considérée comme l'une des plus réalistes pour les systèmes réparables. Elle implique un remplacement périodique de l'équipement. En cas de panne, seule une réparation minimale est effectuée, et ce renouvellement n'a aucun impact sur l'évolution du taux de défaillance du système. Par conséquent, l'équipement se retrouve dans un état aussi dégradé qu'avant l'intervention de maintenance. Cette politique est complémentaire à la politique de maintenance en bloc, car les actions de maintenance sont imparfaites. Les périodicités T correspondent aux moments des maintenances préventives imparfaites, et le système n'est renouvelé qu'après avoir fonctionné pendant un certain temps $K * T$,

Avec $(K = 2,3,4 \dots N)$ [10].

. La fonction du coût par unité de temps dans ce modèle s'écrit :

$$C(K, T) = \frac{C_c H(K, T) + (K - 1)C_p + C_{ov}}{KT} \quad (\text{II.20})$$

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini quelques notions de maintenance et un rappel sur la fiabilité et les modèles d'efficacité de la maintenance par ces trois modèles (minimal, parfait et imparfait), dans la maintenance imparfaite, nous avons défini les modèles de réduction d'intensité de défaillance que nous avons approfondie dans notre étude.

Ensuite, nous avons introduit les différentes politiques de maintenance ainsi que la politique choisi pour notre étude menée dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

3.1 Introduction

La maintenance des systèmes après une défaillance coûte chère, cela peut également prendre une durée de temps considérable. Il est essentiel de maintenir régulièrement les composants du système afin de prévenir les problèmes potentiels et garantir une production optimale sur le plan financier, tout en respectant les échéances prévues.

Pour cela il est important d'optimiser les instants des maintenances préventives et leurs coûts, afin d'obtenir un cycle de révision générale des unités de production adéquat et augmenter la rentabilité de système.

3.2 Choix de la politique pour l'optimisation

Dans notre étude, nous avons opté pour la politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance. Cette politique est appliquée aux systèmes réparables et vise à déterminer le nombre optimal d'intervalles de maintenance préventive K , ainsi que la durée optimale de ces intervalles, représentée par T comme le montre la figure (3.1).

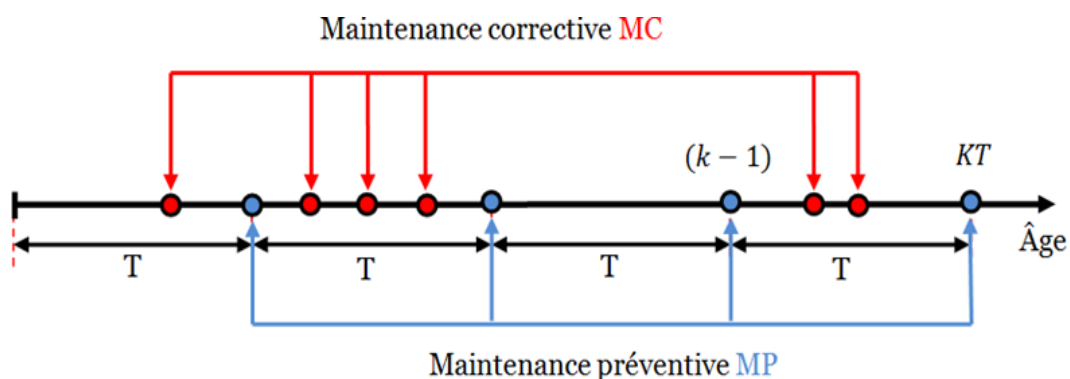


Figure 3.1- Chronogramme de la maintenance périodique imparfaite avec une réparation minimale à la défaillance.

3.3. Choix des modèles

Dans notre étude, on a choisi les deux modèles de réduction d'intensité de défaillance suivants :

Modèle 1 :

Pour le premier modèle choisi, nous allons utiliser le modèle à réduction arithmétique d'intensité de défaillance, et nous allons l'associer au politique de maintenance préventive

Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance

périodique avec réparation minimale à la défaillance pour un nombre de cycle KT ou T représente un cycle.

Modèle d'efficacité choisi :

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) - i\delta \quad (\text{III.1})$$

On a la fonction de hasard cumulé donnée comme suit :

$$H(K, T) = H_0(t) + H_1(t) + H_2(t) + H_3(t) + \dots + H_{(K-1)}(t) \quad (\text{III.2})$$

Sachant que :

$$H(K, T) = \int_0^{KT} \lambda(t) dt \quad (\text{III.3})$$

Pour une période de 0 à T :

$$H_0(T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.4})$$

Pour une période de T à $2T$:

$$H_1(T) = \int_T^{2T} (\lambda_0(t) - \delta) dt \quad (\text{III.5})$$

Pour une période de $2T$ à $3T$:

$$H_2(T) = \int_{2T}^{3T} (\lambda_0(t) - 2\delta) dt \quad (\text{III.6})$$

Donc pour une période de 0 à KT on aura :

$$H(K, T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt + \int_T^{2T} \lambda_1(t) dt + \int_{2T}^{3T} \lambda_2(t) dt + \dots + \int_{(K-1)T}^{KT} \lambda_{k-1}(t) dt$$

(III.7)

$$H(K, T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt + \int_T^{2T} \lambda_0(t) - \delta dt + \dots + \int_{(K-1)T}^{KT} \lambda_0(t) - (K-1)\delta dt$$

(III.8)

$$H(K, T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt + \int_T^{2T} \lambda_0(t) dt + \int_{2T}^{3T} \lambda_0(t) dt + \dots + \int_{(K-1)T}^{KT} \lambda_0(t) dt - \int_T^{2T} \delta dt - \int_{2T}^{3T} 2\delta dt - \dots - \int_{(K-1)T}^{KT} (K-1)\delta dt$$

(III.9)

$$H(K, T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt + \int_T^{2T} \lambda_0(t) dt + \int_{2T}^{3T} \lambda_0(t) dt + \dots + \int_{(K-1)T}^{KT} \lambda_0(t) dt - \delta \int_0^T dt - 2\delta \int_0^T dt - 3\delta \int_0^T dt - \dots - (K-1)\delta \int_0^T dt$$

(III.10)

$$H(K, T) = \int_0^{KT} \lambda_0(t) dt - \delta - 2\delta - 3\delta - \dots - (K-1)\delta \int_0^T dt$$

(III.11)

$$H(K, T) = \int_0^{KT} \lambda_0(t) dt - [\delta + 2\delta + 3\delta + \dots + (K-1)\delta] \int_0^T dt$$

(III.12)

On déduit que :

$$\delta + 2\delta + 3\delta + \dots + (K-1)\delta = \frac{K(K-1)}{2} \delta$$

(III.13)

Donc :

$$H(K, T) = \int_0^{KT} \lambda_0(t) dt - \frac{K(K-1)}{2} \delta \int_0^T dt$$

(III.14)

Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance

On obtient :

$$H(K, T) = \int_0^{KT} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt - \frac{K(K-1)}{2} \delta \int_0^T dt \quad (\text{III.15})$$

Et après intégration du résultat dans l'expression (III.15) on obtient la forme générale de l'intégrale comme suit :

$$H(K, T) = \left(\frac{KT}{\eta}\right)^{\beta} - \frac{K(K-1)}{2} \delta T \quad (\text{III.16})$$

En remplaçant (III.16) dans l'expression du coût qui correspond à ce modèle, on aura la fonction objective de coût s'écrit comme suit :

$$C(K, T) = \frac{C_p(k-1) + C_c \left[\left(\frac{KT}{\eta}\right)^{\beta} - \frac{K(K-1)}{2} \delta T \right] + C_{ov}}{KT} \quad (\text{III.17})$$

Pour déterminer la périodicité T optimale qui minimise la fonction de coût, on dérive cette dernière par rapport à T . L'annulation du dérivé de $C(T)$ donne :

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = 0 \quad (\text{III.18})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{\left[C_c \left(\frac{K^{\beta} \cdot \beta \cdot T^{\beta-1}}{\eta^{\beta}} - \frac{K(K-1)}{2} \delta \right) \right] K \cdot T}{(KT)^2} - \frac{K \left[C_c \left(\left(\frac{KT}{\eta}\right)^{\beta} - \frac{K(K-1)}{2} \times \delta \times T_c \right) + C_p(k-1) + C_{ov} \right]}{(KT)^2} \quad (\text{III.19})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{Cc \left(\frac{K^{\beta+1} \cdot \beta \cdot T^\beta}{\eta^\beta} - \frac{K(K-1)}{2} \delta T - \frac{K^{\beta+1} \cdot \beta \cdot T^\beta}{\eta^\beta} + \frac{K(K-1)}{2} \delta T \right)}{(KT)^2} - \frac{K((C_p(k-1) + C_{ov}))}{(KT)^2} \quad (\text{III.20})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{Cc \left(\frac{K^{\beta+1} \cdot \beta \cdot T^\beta}{\eta^\beta} - K^{\beta+1} \cdot \beta \cdot T^\beta \right) - K((C_p(k-1) + C_{ov}))}{(KT)^2} \quad (\text{III.21})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{Cc \cdot K^{\beta+1} \cdot T^\beta (\beta - 1)}{\eta^\beta \cdot K^\beta \cdot T^\beta} - \frac{K((C_p(k-1) + C_{ov}))}{KT^2} \quad (\text{III.22})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{Cc \cdot K^{\beta-1} \cdot T^{\beta-2} \cdot (\beta - 1)}{\eta^\beta} - \frac{((C_p(k-1) + C_{ov}))}{KT^2} = 0 \quad (\text{III.23})$$

$$T^2 \cdot T^{\beta-2} = \frac{\eta^\beta ((C_p(k-1) + C_{ov}))}{Cc \cdot K \cdot K^{\beta-1} \cdot (\beta - 1)} \quad (\text{III.24})$$

$$T^\beta = \frac{\eta^\beta ((C_p(k-1) + C_{ov}))}{Cc \cdot K^\beta \cdot (\beta - 1)} \quad (\text{III.25})$$

On obtient la périodicité optimale T comme suit :

$$T = \sqrt[\beta]{\frac{\eta^\beta ((C_p(k-1) + C_{ov}))}{Cc \cdot K^\beta \cdot (\beta - 1)}} \quad (\text{III.26})$$

Remarque :

D'après la formule de la périodicité (III.26) obtenue lors de la dérivation de la fonction de coût, nous avons trouvé qu'elle ne dépend en aucun cas du facteur de réduction δ , donc nous concluons que le facteur de réduction arithmétique d'intensité de défaillance n'influence pas la périodicité optimale.

Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance

- **Modèle 2 :**

Pour le deuxième modèle choisi, nous allons utiliser le modèle à réduction géométrique d'intensité de défaillance, et nous allons l'associer au politique de maintenance préventif périodique avec réparation minimale à la défaillance.

Notre deuxième modèle d'efficacité choisi :

$$\lambda(t) = \alpha^{k-1} \lambda_0(t) \quad (\text{III.27})$$

On a l'équation de $H(t)$:

$$H(K, T) = \int_0^{KT} \lambda(t) dt \quad (\text{III.28})$$

Pour la première période de 0 à T :

$$H_0(T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.29})$$

Pour la deuxième période de T à $2T$:

$$H_1(T) = \int_T^{2T} \lambda_1(t) dt = \int_T^{2T} \alpha \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.30})$$

Pour la troisième période de $2T$ à $3T$:

$$H_2(T) = \int_{2T}^{3T} \lambda_2(t) dt = \int_{2T}^{3T} \alpha^2 \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.31})$$

Pour une période de $(K - 1) T$ à KT :

$$H_{k-1}(T) = \int_{(K-1)T}^{KT} \lambda_{k-1}(t) dt = \int_{(K-1)T}^{KT} \alpha^{k-1} \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.32})$$

Nous avons la fonction de hasard cumulé donnée comme suit :

Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance

$$H(K, T) = H_0(t) + H_1(t) + H_2(t) + H_3(t) + \dots + H_{(K-1)}(t) \quad (\text{III.33})$$

On aura :

$$H(K, T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt + \int_T^{2T} \alpha \lambda_0(t) dt + \int_{2T}^{3T} \alpha^2 \lambda_0(t) dt + \dots + \int_{(K-1)T}^{KT} \alpha^{k-1} \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.34})$$

$$H(K, T) = \int_0^T \lambda_0(t) dt + \alpha \int_T^{2T} \lambda_0(t) dt + \alpha^2 \int_{2T}^{3T} \lambda_0(t) dt + \dots + \alpha^{k-1} \int_{(K-1)T}^{KT} \lambda_0(t) dt \quad (\text{III.35})$$

$$H(K, T) = \int_0^T \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt + \alpha \int_T^{2T} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt + \dots + \alpha^{k-1} \int_{(K-1)T}^{KT} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt \quad (\text{III.36})$$

Et après l'intégration du résultat dans l'expression (III.36) on obtient la forme générale de H(t) comme suit :

$$H(K, T) = \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] + \alpha \left[\left(\frac{2T}{\eta}\right)^\beta - \left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] + \alpha^2 \left[\left(\frac{3T}{\eta}\right)^\beta - \left(\frac{2T}{\eta}\right)^\beta \right] + \dots + \alpha^{K-1} \left[\left(\frac{KT}{\eta}\right)^\beta - \left(\frac{(K-1)T}{\eta}\right)^\beta \right] \quad (\text{III.37})$$

$$H(K, T) = \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] + \alpha(2^\beta - 1^\beta) \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] + \alpha^2(3^\beta - 2^\beta) \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] + \dots + \alpha^{K-1}((KT)^\beta - (K-1)^\beta) \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] \quad (\text{III.38})$$

$$H(K, T) = \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^K \alpha^{i-1} (i^\beta - (i-1)^\beta) \right] \quad (\text{III.39})$$

$$H(K, T) = \left[\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \right] \cdot S \quad (\text{III.40})$$

Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance

On aura la fonction de coût comme suit :

$$C(K, T) = \frac{C_p(k-1) + C_c \left[\left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta \cdot S \right] + C_{ov}}{KT} \quad (\text{III.41})$$

Pour déterminer la périodicité T optimale qui minimise la fonction de coût, on dérive cette dernière par rapport à T .

L'annulation du dérivé de $C(T)$ donne :

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = 0 \quad (\text{III.42})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{\left[C_c \left(\frac{S \cdot \beta \cdot T^{\beta-1}}{\eta^\beta} \right) \right] K \cdot T - K \left[C_c \cdot S \cdot \left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta + C_p(k-1) + C_{ov} \right]}{(KT)^2} \quad (\text{III.43})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{\frac{C_c \cdot \beta \cdot S \cdot T^\beta \cdot K}{\eta^\beta} - \frac{C_c \cdot S \cdot T^\beta \cdot K}{\eta^\beta} - KC_p(K-1) - KC_{ov}}{K^2 T^2} \quad (\text{III.44})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{\frac{C_c \cdot S \cdot T^\beta \cdot K}{\eta^\beta} (\beta - 1) - K(C_p(K-1) - C_{ov})}{K^2 T^2} \quad (\text{III.45})$$

$$\frac{dC(K, T)}{dT} = \frac{\frac{C_c \cdot S \cdot T^\beta}{\eta^\beta} (\beta - 1) - C_p(K-1) - C_{ov}}{KT^2} = 0 \quad (\text{III.46})$$

$$\frac{Cc.S.T^\beta}{\eta^\beta}(\beta - 1) = \frac{C_p(k - 1) + C_{ov}}{KT^2}$$

(III.47)

On obtient la périodicité T optimal comme suit

$$T = \sqrt[\beta]{\frac{\eta^\beta (C_p(k - 1) + C_{ov})}{Cc.S.(\beta - 1)}}$$

(III.48)

Remarque :

Dans ce second modèle choisi nous avons constaté que la formule de la périodicité (III.48) dépend du facteur de réduction α , donc nous déduisons que le facteur de réduction géométrique d'intensité de défaillance influence la périodicité.

Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre est de déterminer la durée et le nombre optimal d'interventions de maintenance avant de procéder à un renouvellement général. Pour atteindre cet objectif, nous avons intégré les modèles de réduction (arithmétique et géométrique) de l'intensité de défaillance dans la politique de maintenance périodique avec réparation minimale à la défaillance. En conclusion, nous examinons l'effet des modèles d'efficacité choisis sur la périodicité optimale.

Chapitre 4

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous commencerons par traiter les données recueillies lors de notre stage, ce qui nous permettra d'estimer les différents paramètres nécessaires, pour obtenir des résultats d'optimisation concernant la périodicité et le coût associés à chaque modèle d'efficacité choisi.

4.2. Traitement de données

Après avoir eu des informations formelles auprès de l'ingénieur responsable de département exploitation concernant les dates de la défaillance de la conditionneuse et son instant de remise en service dans la période s'étalant de (04/03/2019 à 12/01/2023), nous avons calculé leurs durées de bon fonctionnement (TBF).

4.3. Estimation des paramètres de la loi de Weibull

Après notre traitement des données nous avons utilisé le logiciel MATLAB.

Cette étape consiste à identifier les paramètres suivants : le paramètre de forme β et le paramètre d'échelle (la vie caractéristique) η de la loi Weibull, à partir d'un logiciel MATLAB.

Après le traitement nous avons trouvé les résultats suivants :

- $\beta = 1.60$
- $\eta = 5099 \text{ h}$

Dont la figure (4.1) représente la distribution des (TBF) calculé.

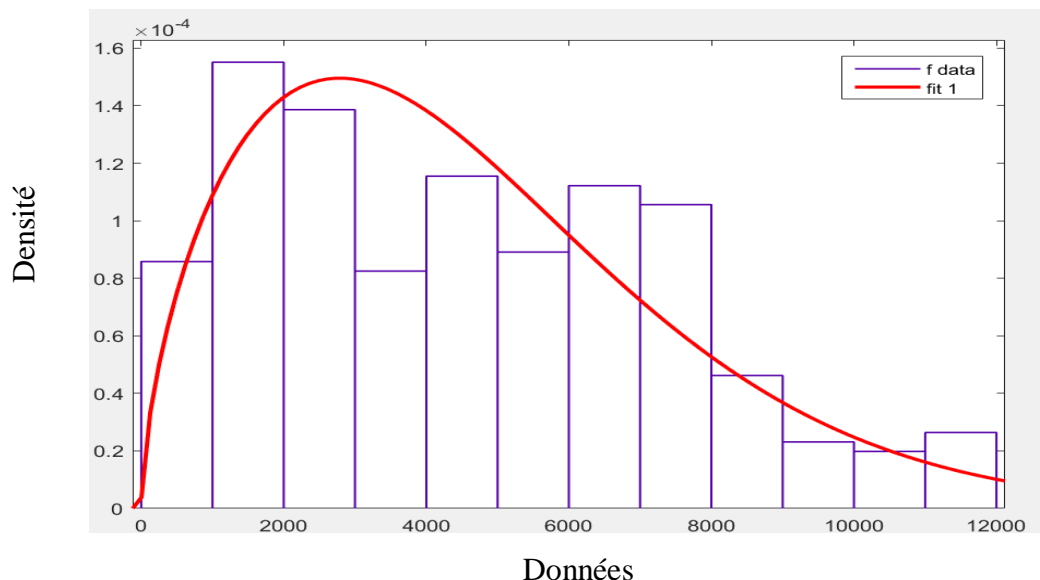


Figure 4.1 – Distribution de la loi Weibull

4.3.1. Test de Kolmogorov-Smirnov

Ce test de Kolmogorov-Smirnov est fait pour ajuster les paramètres obtenus, et qui est basé sur le principe de comparaison de l'écart maximal entre la fonction de répartition théorique et empirique (en valeur absolue), d'après la valeur critique tirée de la table de Kolmogorov-Smirnov (fonction de n et de niveau de signification).

Si l'écart maximal est inférieur à la valeur critique on accepte le modèle théorique, dans le cas contraire il est rejeté [5].

On commence tout d'abord par le calcul de la fonction de répartition empirique et celui de la fonction de répartition théorique pour ainsi trouver l'écart entre les deux fonctions (théorique, empirique).

$$D_{ni} = |F_{th}(t) - F_{emp}(i)|$$

Fonction de répartition empirique:

$$F_{emp}(i) = \frac{i}{n + 1}$$

Fonction de répartition théorique :

$$F_{th}(t) = 1 - e^{(-\frac{t}{\eta})^\beta}$$

L'écart maximal trouvé entre la fonction de répartition empirique et la fonction théorique
 $D_{n,max} = 0,0746$

La valeur critique de la table de Kolmogorov-Smirnov si nous prenons par défaut le risque d'erreur $\alpha = 5\%$ et le nombre de défaillance $n = 303$, on trouve :

$$D_{n,\alpha} = 0,078$$

D'où : $D_{n,\alpha} > D_{n,max}$

Donc l'ajustement est accepté.

La figure (4.2) illustre l'écart tolérable entre $F_{th}(t)$ et $F_{emp}(i)$.

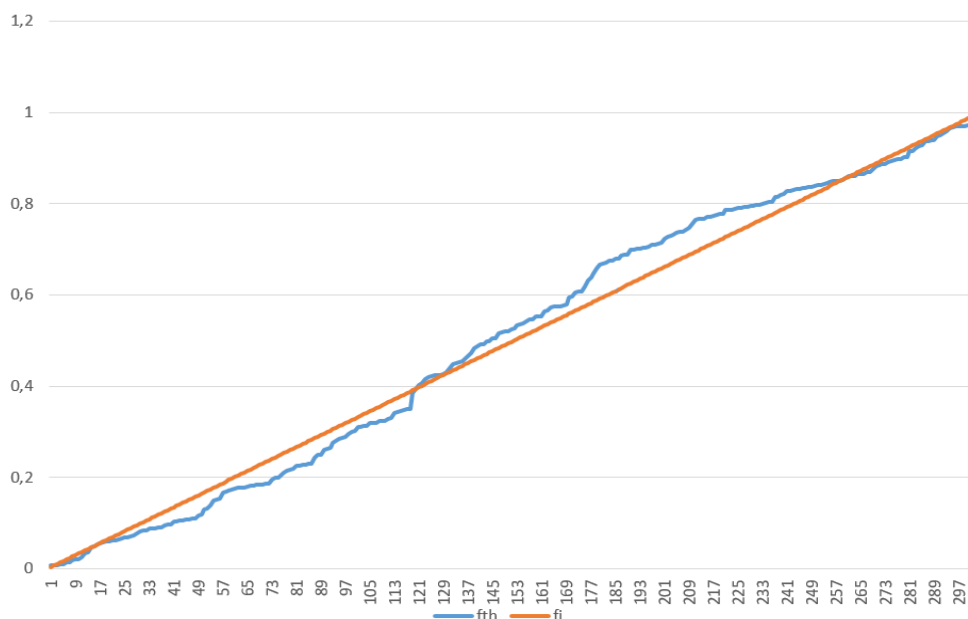


Figure 4.2 - Ecart tolérable entre $F(t)$ et $F_{emp}(i)$.

4.4. Estimation des coûts

➤ **Coût préventif moyen C_p**

Le coût de maintenance préventif est la somme des coûts de main d’œuvre (ingénieur électrique ou mécanique et technicien en maintenance) et le coût de la pièce de rechange, qui sont donnés dans le tableau (4.1)

$$C_p = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de la pièce de rechange}$$

Tableau 4.1- Coût moyen de la maintenance préventive

Coût	Montant
coût de main d’œuvre	160000.00 DA
coût de la pièce de rechange	2190000 DA
Coût de préventif	2350000 DA

➤ **Coût correctif moyen C_c**

Le coût de maintenance correctif est la somme des coûts de main d’œuvre (ingénieur électrique, ingénieur mécanique et technicien en maintenance), coût de la pièce de rechange et le coût de perte de production, qui sont donnés dans le tableau (4.2)

$$C_c = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de la pièce de rechange} \\ + \text{coût de perte de production.}$$

Tableau 4.2- Coût moyen de maintenance corrective.

Coût	Montant
coût de main d'œuvre	1200.00 DA
coût de la pièce de rechange	3000.00 DA
coût de perte de production	42800.00 DA
Coût de correctif	47000.00 DA

➤ **Coût de renouvellement**

Le coût de renouvellement dans le domaine de maintenance représente les dépenses liées au remplacement, à la rénovation ou à la mise à niveau des équipements, systèmes ou infrastructures pour maintenir le bon fonctionnement des installations.

$$C_{ov} = 30000000.00 \text{ DA}$$

4.5. Estimation des facteurs de réduction d'intensité de défaillance

En collaboration avec les ingénieurs de service maintenance de l'entreprise CEVITAL on a supposé les facteurs de réduction δ et α comme suit :

La valeur de facteur de réduction arithmétique d'intensité de défaillance présente 20 % de taux d'intensité de défaillance à la première intervention préventive partielle. Sachant que les interventions préventives sont effectuées annuellement.

$$\lambda(365) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{365}{\eta} \right)^{\beta-1} \tag{VI.1}$$

$$\delta = 0.20 * \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{365}{\eta} \right)^{\beta-1} \tag{VI.2}$$

$$\delta = 0.00209 \tag{VI.3}$$

Dans ce qui suit nous allons calculé le facteur de réduction géométrique α en fonction de δ par la relation (VI.4) suivante :

$$\alpha \int_T^{2T} \lambda(t) = \int_T^{2T} \lambda(t) - \delta \quad (\text{VI.4})$$

$$\alpha \left[\left(\frac{2T}{\eta} \right)^\beta - \left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta \right] = \left[\left(\frac{2T}{\eta} \right)^\beta - \left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta \right] - \delta T \quad (\text{VI.5})$$

$$\alpha = 1 - \frac{\delta T}{\left(\frac{2T}{\eta} \right)^\beta - \left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta} \quad (\text{VI.6})$$

Donc on aura :

$$\alpha = 0.93$$

4.6. Optimisation du coût total de la maintenance

Dans notre étude, nous supposons que la conditionneuse SBS250 est maintenu de la manière suivante : les interventions de maintenances préventives imparfaites sont effectuées à des périodes fixes KT , ($K = 1, 2 \dots N$). (N est un entier).

En consultant avec le service maintenance d'après la durée de vie de système, on a fixé le nombre de période K à 20.

Le cout de maintenance préventif est de $C_p = 2350000.00 \text{ DA}$

Les défaillances sont corrigées par des réparations minimales, le cout de maintenance corrective est de $C_c = 47000.00 \text{ DA}$

Après les interventions de maintenance préventive, l'élément est remplacé complètement (renouvellement), son cout de révision général est de $C_{ov} = 30000000.00 \text{ DA}$

Chapitre 4 : Estimation des données et application

D'après les calculs on trouve les résultats suivant :

Pour le modèle de la réduction arithmétique d'intensité de défaillance on obtient la périodicité optimale :

$$T = 1461 \text{ Jours}$$

On remplace la valeur de T dans la fonction de coût développée dans le chapitre précédent pour obtenir le coût minimal :

$$\text{Coût} = 5881.00 \text{ DA/Jours}$$

La figure (4.3) représente la variation de C(T) en fonction de temps dans le modèle arithmétique.

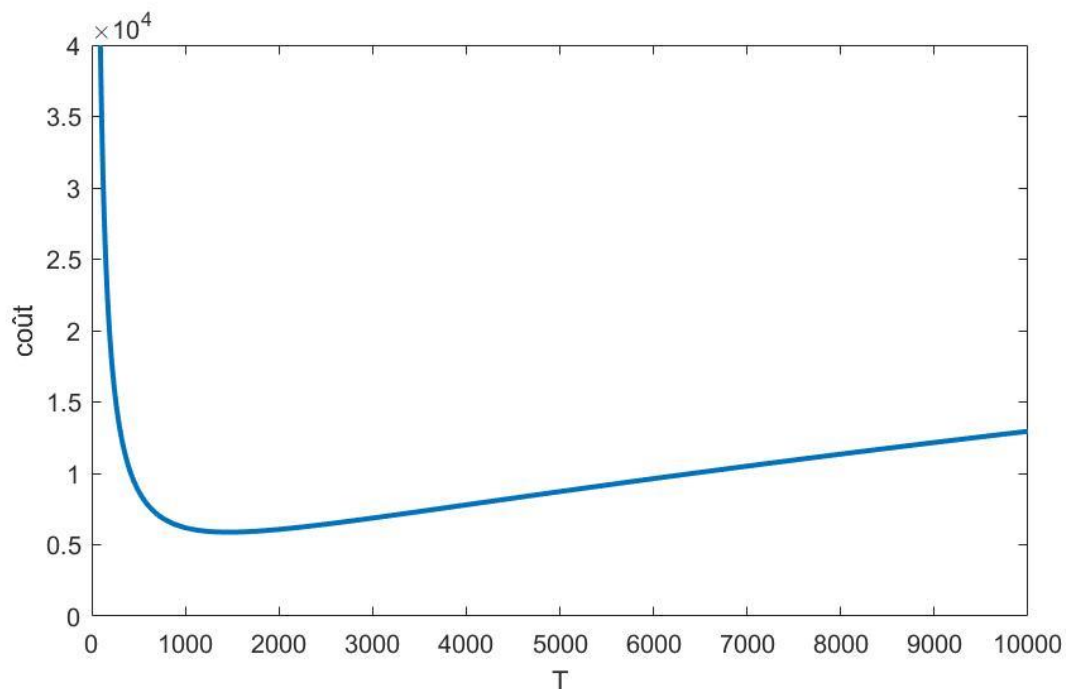


Figure 4.3 – Allure de coût en fonction de temps selon le modèle arithmétique

Pour le modèle de la réduction géométrique d'intensité de défaillance on obtient la périodicité optimale :

$$T = 2385 \text{ Jours}$$

On remplace la valeur de T dans la fonction de coût développée dans le chapitre précédent pour obtenir le coût minimal :

$$\text{Coût} = 4173.00 \text{ DA /Jours}$$

La figure (4.4) représente la variation de $C(T)$ en fonction de temps dans le modèle géométrique.

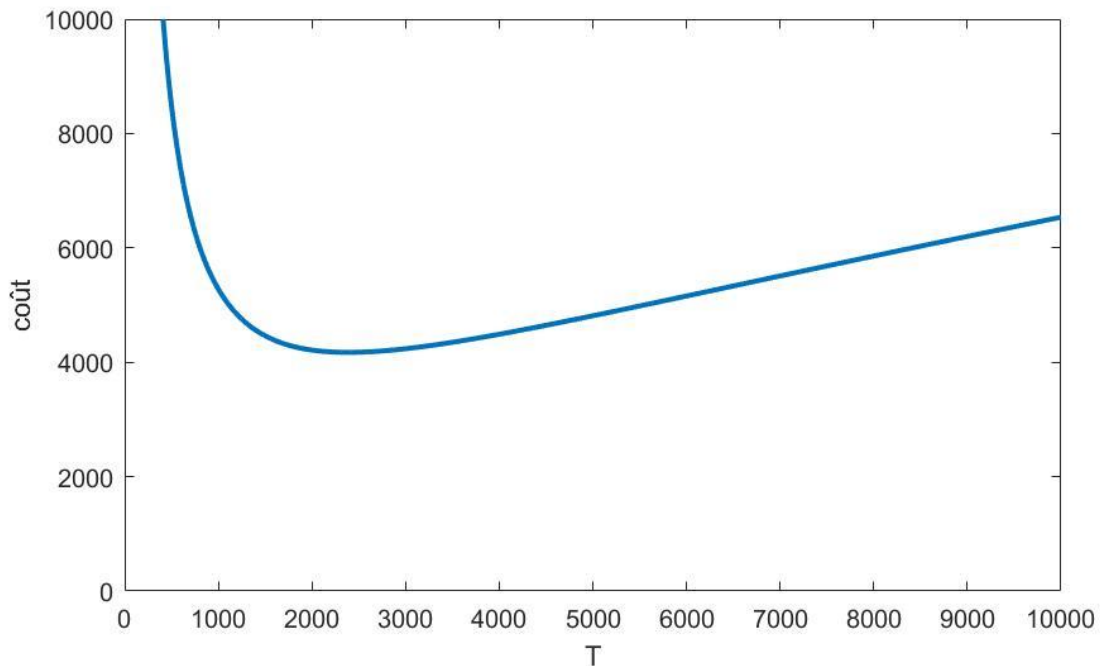


Figure 4.4 – Allure de coût en fonction de temps selon le modèle géométrique

4.6.1. Discussion des résultats

Après avoir étudié les deux modèles et avoir obtenu des valeurs différentes, le coût de maintenance selon le modèle de réduction géométrique est inférieur de celui de modèle arithmétique ($4173.00 < 5881.00$).

Nous pouvons conclure que le modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance est le modèle adéquat dans notre étude.

Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons réussi à introduire une application numérique pour déterminer et comparer les périodicités optimales et les coûts obtenus par les deux modèles d'efficacité choisis, nous concluons que le modèle de réduction géométrique de l'intensité de défaillance est plus adapté à notre recherche.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'optimiser la maintenance d'un système réparable en utilisant une politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance.

Nous utilisons les deux modèles d'efficacité de maintenance qui sont le modèle de réduction d'intensité arithmétique et géométrique.

Nous avons constaté que dans le modèle d'intensité arithmétique de défaillance, la périodicité optimale ne dépend pas du facteur de réduction. En d'autres termes, le facteur de réduction arithmétique n'a pas d'influence sur la périodicité optimale, contrairement au modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance.

Nous avons effectué une formule analytique en utilisant les fonctions de coûts de chaque modèle afin de déterminer la périodicité optimale qui minimise le coût pour chaque modèle d'efficacité choisi.

Nous avons comparé les modèles de réduction d'intensité arithmétique et géométrique et avons conclu que le modèle géométrique est le plus performant en terme de coût total de maintenance.

Références Bibliographiques

- [1]: Documentation de la conditionneuse SBS250.
- [2]: AFNOR (NF-X 60-010) : Association française de normalisation 1994.
- [3]: R. Laggoune, cours de « Maintenance des systèmes électromécaniques » électromécaniques Université de Bejaia 2020/2021
- [4]: F. Monchy et J.-P. Vernier, « Maintenance Méthodes et organisations », livre, Paris : Dunod,2010.
- [5]: R. Laggoune, cours de « fiabilité des systèmes », maintenance industrielle, Université de Bejaia 2021/2022.
- [6]: E. Ait Mokhtar, cours de « Modèle de maintenance », maintenance industrielle, Université de Bejaia 2021/2022.
- [7]: H. Procaccia, E. Ferton, et M. Procaccia, « Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables », Lavoisier,2011.
- [8]: T. Nakagawa, « Maintenance Theory of Reliability », Springer-Verlag London Limited, 2005.
- [9]: N. Toshio, Z. Xufeng et Y. Won, « Optimal age replacement and inspection policies with random failure and replacement times », International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 18(05), 2011, p. 405-416
- [10]: R. Laggoune et C. Haddad, « optimisation de la maintenance des équipements de manutention du terminal à conteneurs de Bejaia »,3éme conférence internationale (csc),2012.

Résumé :

La maintenance est essentielle tant pour les pays développés que pour les pays en voie de développement. Elle revêt une importance économique considérable pour tous ceux qui aspirent à posséder des outils de production performants et à les maintenir en bon état de manière continue.

Notre mémoire a pour ambition de fournir une démarche scientifique qui permettrait l'amélioration de la gestion et d'optimiser le plan de maintenance de la conditionneuse de sucre ROVEMA SBS 250. Il s'agit plus particulièrement de trouver la périodicité optimale de la maintenance préventive d'un système réparable. Pour cela, nous avons adopté une politique de maintenance préventive périodique avec réparation minimale à la défaillance, ensuite nous avons choisis deux modèles de réduction (arithmétique, géométrique) d'intensité de défaillance, Cette politique consiste à optimiser le coût de maintenance et d'avoir une périodicité optimale

Summary:

Maintenance is essential for both developed and developing countries. It holds considerable economic importance for those who aim to possess high-performing production tools and maintain them in good condition consistently.

Our thesis aims to provide a scientific approach that would enhance management and optimize the maintenance plan for the ROVEMA SBS 250 sugar-packaging machine. Specifically, we seek to determine the optimal frequency for preventive maintenance of a repairable system. To achieve this, we have implemented a periodic preventive maintenance policy with minimal repairs upon failure. Additionally, we have selected two reduction models (arithmetic and geometric) for decreasing failure intensity. This policy aims to optimize maintenance costs and achieve an optimal maintenance frequency.

ملخص

الصيانة ضرورية لكل من البلدان المتقدمة والنامية. إنها ذات أهمية اقتصادية كبيرة لجميع أولئك الذين يطمحون لامتلاك أدوات إنتاج عالية الأداء والحفاظ عليها في حالة جيدة بشكل مستمر.

ROVEMA تهدف أطروحتنا إلى توفير نهج علمي من شأنه تحسين الإدارة وتحسين خطة الصيانة لآلة تعبئة السكر . إنها بشكل أكثر تحديداً مسألة إيجاد الدوري الأمثل للصيانة الوقائية لنظام قابل للإصلاح. لهذا، اعتمدنا سياسة SBS 250 الصيانة الوقائية الدورية مع الحد الأدنى من الإصلاح للفشل، ثم اخترنا نموذجين لتقليل شدة الفشل (حسابي، هندسي)، تتمثل هذه السياسة في تحسين تكلفة الصيانة والحصول على دورية مثالية.