

Mémoire de Fin d'étude  
En vue de l'obtention du diplôme  
**MASTER**  
En Electromécanique, option :  
Maintenance Industrielle

*Thème*

---

*Etude comparative entre la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance périodique.*

---

**Devant le jury composé de :**

- M<sup>r</sup> : IMAOUCHENE Yacine, Président**
- M<sup>r</sup> : AIT MOKHTAR EL-Hassene, Examineur**
- M<sup>r</sup> : LAGGOUNE Radouane, Encadreur**

**Présenté par :**

- BEDDAR Akli**
- MERZOUK Azouaou**

*Année universitaire : 2020/2021*

# Remerciements



*Nous remercions tout d'abord Dieu, le tout-puissant de nous avoir accordé santé, courage et foie.*

*Nous adressons en particulier nos remerciements à notre encadreur **Mr.LAGGOUNE Radouane** qui nous a fait un grand honneur en dirigeant ce travail ainsi qu'en nous guidant tout au long de sa réalisation.*

Un remerciement très spécial pour **Mr. AIT MOKHTAR Elhassene** et **Mr.ZOUGAB Nabil** pour leur aide, leurs conseils.

*Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à l'égard de nos parents pour leurs indéfectibles soutiens durant tout notre cursus.*

*Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements.*



# *Table des matières*

*Table des matières*

Liste des figures ..... vi  
Liste des tableaux ..... vii  
Introduction générale .....01

*Chapitre 1 : Généralités sur les politiques de maintenance*

1. Introduction .....03  
2. Définition de la maintenance .....03  
3. De l'entretien à la maintenance.....04  
4. Enjeux de la fonction maintenance.....04  
5. Les critères qui influent sur la maintenance.....05  
    5.1. Critère de coût.....05  
    5.2. Coûts du préventif .....05  
6. Types de maintenance.....06  
    6.1. La maintenance corrective.....06  
        6.1.1. Maintenance palliative.....07  
        6.1.2. Maintenance curative.....07  
    6.2. La maintenance préventive .....07  
        6.2.1. Maintenance préventive systématique.....07  
        6.2.2. Maintenance préventive conditionnelle .....08  
        6.2.3. Maintenance préventive prédictive (prévisionnelle).....09  
7. Objectifs visés par la maintenance préventive.....09  
    7.1. Améliorer la fiabilité du matériel.....09  
    7.2. Garantir la qualité des produits.....09

7.3. Améliorer l'ordonnancement des travaux .....	09
7.4. Assurer la sécurité humaine.....	10
7.5. Améliorer la gestion des stocks.....	10
7.6. Améliorer le climat de relation humaine.....	10
8. Les politiques de maintenance.....	10
8.1. Définition d'une politique de maintenance.....	10
8.2. Politique de maintenance pour les systèmes mono-composants.....	11
8.2.1. Politique de MP en fonction de l'âge.....	09
8.2.2. Politique de maintenance préventive périodique.....	11
8.2.3. Politique de la limite de défaillance.....	11
8.2.4. Politique de MP séquentielle.....	11
8.2.5. Politique de la limite de réparation .....	11
8.2.6. Nombre de réparation et politique de temps de référence.....	12
8.3. Politiques de maintenance pour les systèmes multi-composants.....	12
8.3.1. Politiques de maintenance en groupe.....	12
8.3.2. Politiques de maintenance opportunistes.....	12
9. Politique de maintenance selon l'âge et Politique de maintenance périodique.....	13
9.1. Politique de maintenance préventive selon l'âge.....	13
9.2. Politique de maintenance préventive périodique.....	16
9.2.1. Définition de la réparation minimale.....	16
9.2.2. Remplacement périodique avec réparation minimale.....	17
10. Conclusion.....	20

*Chapitre 2 : Rappels sur la fiabilité et le cadre d'étude*

<b>1. Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>2. Historique de groupe <i>Cevital</i> .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1. Situation géographique de CEVITAL.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2. Les activités de l'entreprise .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Missions et objectifs .....</b>	<b>23</b>
<b>3. Description de l'unité de conditionnement de sucre.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Les équipements utilitaires.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Les lignes de conditionnement.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Procédure de démarrage de la production 1 kg.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.1. Démarrage des équipements utilitaires.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.2. Démarrage de l'envoi de sucre.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.3. Démarrage des équipements avec produit.....</b>	<b>27</b>
<b>4. Fonctions statistiques utilisées en fiabilité.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Fonction de fiabilité.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Fonction de répartition.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3. Densité de probabilité.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4. Taux de défaillance.....</b>	<b>29</b>
<b>4.5. Espérance mathématique. ....</b>	<b>29</b>
<b>5. Lois de probabilité usuelles utilisées en fiabilité.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. Loi exponentielle.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. Loi de Weibull.....</b>	<b>30</b>
<b>6. Description générale du compresseur.....</b>	<b>31</b>
<b>7. Description générale du l'élément de sortie.....</b>	<b>35</b>
<b>8. Réalisez plus d'économies grâce à la récupération d'énergie.....</b>	<b>35</b>

9. Échangeur de chaleur intégré.....36  
10. Conclusion.....37

*Chapitre 3 : Comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique(Application)*

1. Introduction.....38  
2. Prélèvement des TBF (Time Between Failures = Temps entre défaillances) .....38  
3. Détermination des paramètres de Weibull.....38  
4. Estimation des coûts.....40  
    4.1. Estimation des coûts de main d'œuvre par heure.....40  
    4.2. Coût d'une intervention par heure.....40  
        4.2.1. Préventive.....40  
        4.2.2. Corrective.....40  
    4.3. L'estimation de perte de production.....41  
5. Élément de sortie.....41  
6. Les fonctions de fiabilité.....42  
7. Application sur la politique de maintenance préventive périodique.....42  
8. Application sur la politique de maintenance préventive selon l'âge.....44  
9. Comparaison entre les résultats des deux politiques.....47  
10. Conclusion.....47  
Conclusion générale.....48

# *Liste des figures*

Liste des figures

*Chapitre 1 : Généralités sur les politiques de maintenance*

Figure 1.1 : Classification des divers types de maintenance(AFNOR) .....6  
Figure 1.2: Processus de remplacement selon l'âge T.....14  
Figure 1.3 : Taux de coût prévu C(t) du remplacement selon l'âge avec temps prévu ...16  
Figure 1.4 : Processus de remplacement périodique avec réparation minimale.....18  
Figure 1.5 : T optimum pour le taux de défaillance  $\lambda(T)$  .....19

*Chapitre 2 : Rappels sur la fiabilité et cadre d'étude*

Figure2.1 : Un capteur d'écran sur Google Maps lorsque nous avons visité le site.....22  
Figure 2.2 : Vue générale du bâtiment .....24  
Figure 2.3 : Sac de 1 kg du sucre blanc cristallisé.....25  
Figure 2.4 : Sac de 5 kg du sucre blanc cristallisé.....25  
Figure 2.5: Sucre blanc en morceaux.....25  
Figure 2.6: Sac verseur de 1 Kg du sucre blanc.....26  
Figure 2.7: Big Bag de 1100 Kg du sucre blanc .....26  
Figure 2.8 : Fonction de densité de probabilité-loi exponentielle .....30  
Figure 2.9: Compresseur ATLAS COPCO.....32  
Figure 2.10 : Emplacement des composants.....34  
Figure 2.11: photo réel du l'élément de sortie.....35  
Figure 2.12 : Utilité de l'changeur de chaleur.....36  
Figure 2.13 : Fonctionnement de compresseur à vitesse fixe.....37

*Chapitre 3 : Comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique(Application)*

Figure 3.1 : Fonction de densité de probabilité.....39  
Figure 3.2 : Allure du coût en fonction du temps. ....45  
Figure 3.3: zoom sur l'allure du coût en fonction du temps. ....46

# *Liste des tableaux*

**Liste des tableaux**

*Chapitre 2 : Rappel sur la fiabilité et cadre d'étude*

**Tableau 2.1: Signification des composants de compresseur.....34**

*Chapitre 3 : Comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique(Application)*

**Tableau 3.1 : Prélèvement des TBF.....38**

# *Introduction générale*

### *Introduction générale*

De nos jours, de nombreux systèmes tels que les centrales électriques, les centrales nucléaires, les avions, les réseaux de communication, les unités de production ; deviennent de plus en plus compliqués et de grande utilité influençant grandement notre société. Ces installations et équipement tendent à se dégrader dans le temps sous l'effet de causes multiples telles que l'usure, la fatigue due au fonctionnement ou l'action des agents corrosifs (atmosphère, éléments chimiques, etc.). Cette dégradation peut provoquer beaucoup de problèmes tels que la diminution de la capacité de production, l'arrêt de fonctionnement, l'augmentation de la consommation d'énergie et le taux de pollution, le manque de qualité, la diminution de la valeur marchande de ces moyens ou la provocation des dangers sur la sécurité des personnes et des biens.

La maintenance des équipements de production n'est pas une tâche simple pour toute entreprise industrielle, où toute erreur ou dysfonctionnement peut être une catastrophe. Les règles de la maintenance sont définies pour assurer la disponibilité des équipements industriels et améliorer leurs performances. La mise en œuvre de ces règles exige la compétence des ressources humaines, un système de gestion de pièces de rechange bien pensé, un système d'information et de communication adéquat, pour assurer un échange efficace entre les différents intervenants.

La stratégie de maintenance affecte fortement la performance d'une entreprise car il existe plusieurs façons de maintenir une installation.

On peut jouer sur le type de maintenance (maintenance préventive, maintenance corrective,...), sur les types de tâches, sur leurs fréquences, sur le niveau d'intervention, etc. Donc le choix d'une politique de maintenance s'impose et doit conduire à trouver le meilleur compromis entre maintenance et coût car l'absence ou l'excès de maintenance se traduisent par de mauvais résultats financiers [9].

Dans les grandes entreprises industrielles où souvent les équipements sont automatisés, et les lignes de production sont composées d'un grand nombre d'équipements, le type de maintenance est souvent orienté vers la maintenance préventive pour éviter les arrêts de production et la durée d'intervention sur les équipements et aussi réduire le coût de réparation.

Les entreprises industrielles sont souvent soumises à des contraintes pour choisir entre la meilleure politique de maintenance préventive soit selon l'âge soit périodique ce qui n'est pas facile car les deux politiques présentent des avantages et des inconvénients ce qui nécessite une étude approfondie.

Pour donner une solution à cette problématique nous nous intéressons dans ce travail à la comparaison entre la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance préventive périodique.

Notre travail est organisé de la manière suivante :

- Le premier chapitre est consacré à une introduction sur la maintenance (définitions, types, objectifs) et passe en revue les différentes politiques de maintenance, et de manière plus précisée la définition de la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance préventive périodique.
- Le deuxième chapitre donne une présentation de l'entreprise cevital, et différents fonctions statistiques et lois utilisés en fiabilité et de l'équipement étudié.
- Le troisième chapitre fournit une application et une comparaison entre les deux politiques de maintenance selon l'âge et périodique.

***Chapitre 1 :***  
***Généralités sur les politiques de***  
***maintenance***

## 1. Introduction

Les équipements de production et de services constituent une part importante du capital de la majorité des industries. Ces équipements sont généralement sujets à des dégradations avec l'utilisation et le temps. Pour certains de ces systèmes, tels que les avions, les systèmes nucléaires, les installations pétrolières et chimiques, il est extrêmement important de tout mettre en œuvre pour éviter la défaillance en fonctionnement car elle peut être dangereuse. Par ailleurs, pour les unités à fonctionnement continu tel que les raffineries de pétrole, le manque à gagner est élevé en cas d'arrêt. Par conséquent, la maintenance devient une nécessité pour améliorer la fiabilité. L'importance croissante de la maintenance a généré un intérêt sans cesse croissant dans le développement et la mise en œuvre de stratégies de maintenance pour l'amélioration de la fiabilité des systèmes, la prévention de défaillance et la réduction des coûts de maintenance.

## 2. Définition de la maintenance

D'après l'AFNOR (FD X 60-000), « la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administrative et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise »[1].

La maintenance s'intègre dans le concept global de la sûreté de fonctionnement, qui regroupe 4 disciplines :

- La fiabilité (AFNOR X-06-501) : Aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation données à un instant donné.
- La disponibilité (AFNOR X-06-010) : Aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation données pendant une période donnée.
- La maintenabilité (AFNOR X-06-010) : Aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions d'utilisation données avec des moyens et procédures prescrits.
- La sécurité (AFNOR X-06-010) : Aptitude d'un dispositif à éviter de faire apparaître des évènements critiques ou catastrophiques [2].

En d'autres termes, pour un système industriel assujéti à des dysfonctionnements, les actions de maintenance visent à limiter, voir éviter, les indisponibilités du système. Ces indisponibilités affectent la sûreté, les coûts et la qualité des services fournis par le système. Par conséquent, la maintenance quand elle est optimale, contribue fortement à limiter les indisponibilités, maîtriser les coûts et la qualité des services et assurer une sécurité maximale des personnes et de l'environnement.

Dans une entreprise, *maintenir*, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle,...) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité [1].

S'agissant de la panne, la norme NF EN 13306 la définit comme suit :

- Panne : état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures.
- Panne masquée : situation dans laquelle une panne existe dans une partie du bien, mais ne peut être détectée en raison d'une panne du bien lui-même ou à cause d'une autre panne de cette même partie ou d'une panne d'une autre partie.
- Panne latente : panne existante, mais qui n'a pas encore été détectée.
- Panne partielle : panne caractérisée par le fait que le bien ne peut accomplir que quelques-unes mais pas toutes les fonctions requises [3].

### **3. De l'entretien à la maintenance**

Cette différence de vocabulaire marque une évolution de concept. Le terme maintenance est apparu dans les années 1950 aux Etats-Unis. En France, on parlait encore à cette époque d'entretien. Progressivement, une attitude plus positive vis-à-vis de la défaillance, voit le jour. Il faut tirer une leçon de l'apparition d'une panne pour mieux réagir face aux aléas de fonctionnement.

Le terme « maintenance » se substitue à celui d'« entretien » qui signifie alors « maintenance corrective ».

Entretien, c'est dépanner, réparer pour assurer le fonctionnement de l'outil de production : *entretenir* c'est subir le matériel.

Maintenir, c'est intervenir dans de meilleures conditions ou appliquer les différentes méthodes afin d'optimiser le coût global de possession : *maintenir*, c'est maîtriser [1].

### **4. Enjeux de la fonction maintenance**

Pour demeurer compétitive, une entreprise doit proposer un produit ou un service toujours meilleur et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, il est indispensable de garantir un état de fonctionnement minimal et autant le temps des interruptions de service rendus nécessaire par les opérations de remise à niveau. Cette double contrainte est en partie satisfaite par l'automatisation des inspections calendaires et de la surveillance continue des systèmes mais celles-ci ne peuvent empêcher les ralentissements et les arrêts dus à la dégradation ou la défaillance des systèmes. Ainsi, pour assurer un meilleur service avec de faibles charges et un rendement de meilleure qualité et en continu, l'entreprise doit définir une politique de maintenance afin de répondre aux besoins de sa clientèle garantir sa rentabilité. Le maintien en condition opérationnelle des équipements productifs de l'entreprise est ainsi un élément très important pour la bonne marche de l'activité et la prise en charge des risques de défaillance pouvant survenir à tout moment.

Dans ce sens plusieurs entreprises ont engagé une démarche d'Optimisation de la Maintenance basée sur la Fiabilité (OMF). Cette dernière permet de définir une politique de maintenance selon plusieurs critères comme la disponibilité, la sûreté et les coûts et tout en prenant en considération

les conséquences d'une telle stratégie sur l'occurrence des défaillances et le fonctionnement du système [3].

## 5. Les critères qui influent sur la maintenance

### 5.1 Critère de coût

La détermination des coûts revient à faire un bilan : coûts des actions de maintenance préventive (MP) et coûts de défaillance maintenance corrective (MC).

Coûts de défaillance (MC) Ils se composent de deux types :

➤ Coûts directs de défaillance :

- Coûts de main d'œuvre : ils représentent les salaires du personnel de maintenance ;
- Frais généraux de service : tel que les coûts d'énergie consommée lors des interventions de maintenance ;
- Frais de stockage et de magasinage : ils regroupent les coûts liés à la gestion du magasin de stock de pièces de rechange ;
- Coûts de la pièce de rechange : ils représentent les coûts de matière et des pièces de rechange consommées lors des interventions de MC ;
- Sous-traitance : dans le cas où l'entreprise fait appel à un prestataire pour l'exécution de certaines tâches spécifiques de maintenance.

➤ Coûts indirects de défaillance :

- Pertes de production : représentent les pertes dues à l'arrêt de production ;
- Pertes de matière première : représentent la matière consommée et non transformée en produit négociable ;
- Main d'œuvre de production inoccupée : représente les salaires du personnel du service production inoccupé pendant l'arrêt ;
- Amortissement non réalisé : c'est la perte de l'amortissement des matériels en panne.

### 5.2 Coûts du préventif

Ils sont identiques aux coûts directs de défaillance. La différence entre les deux (i.e. coûts du préventif et les coûts directs du correctif) réside dans la durée de l'intervention.

Notons par  $C$  l'espérance du coût de maintenance par unité de temps  $t$ . Le coût moyen d'une MC est noté  $C_C$ , et le coût d'une MP est noté  $C_p$  avec  $C_p \ll C_C$ . Les durées des deux types de maintenance (i.e. MP et MC) sont négligeables. Selon cette politique, l'espérance du coût total de maintenance est formulée comme suit :

$$C(T) = \frac{C_p R(T) + [1 - R(T)]C_C}{\int_0^T R(t)dt} \quad (2.15)$$

Où : Le numérateur représente l'espérance du coût total du cycle et le dénominateur représente l'espérance de la longueur du cycle.

$C_p$  le coût du remplacement préventif.

$C_c$  le coût de défaillance incluant le cout de remplacement.

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

T est l'âge du remplacement préventif (variable de décision).

L'âge optimal du remplacement T correspond au minimum de l'équation  $C(T)$ .

Ainsi, le nom de cette politique vient de là, puisque le système reçoit des actions de MP à des périodes prédéterminées qui dépendent de l'âge de ce système.

## 6. Types de maintenance

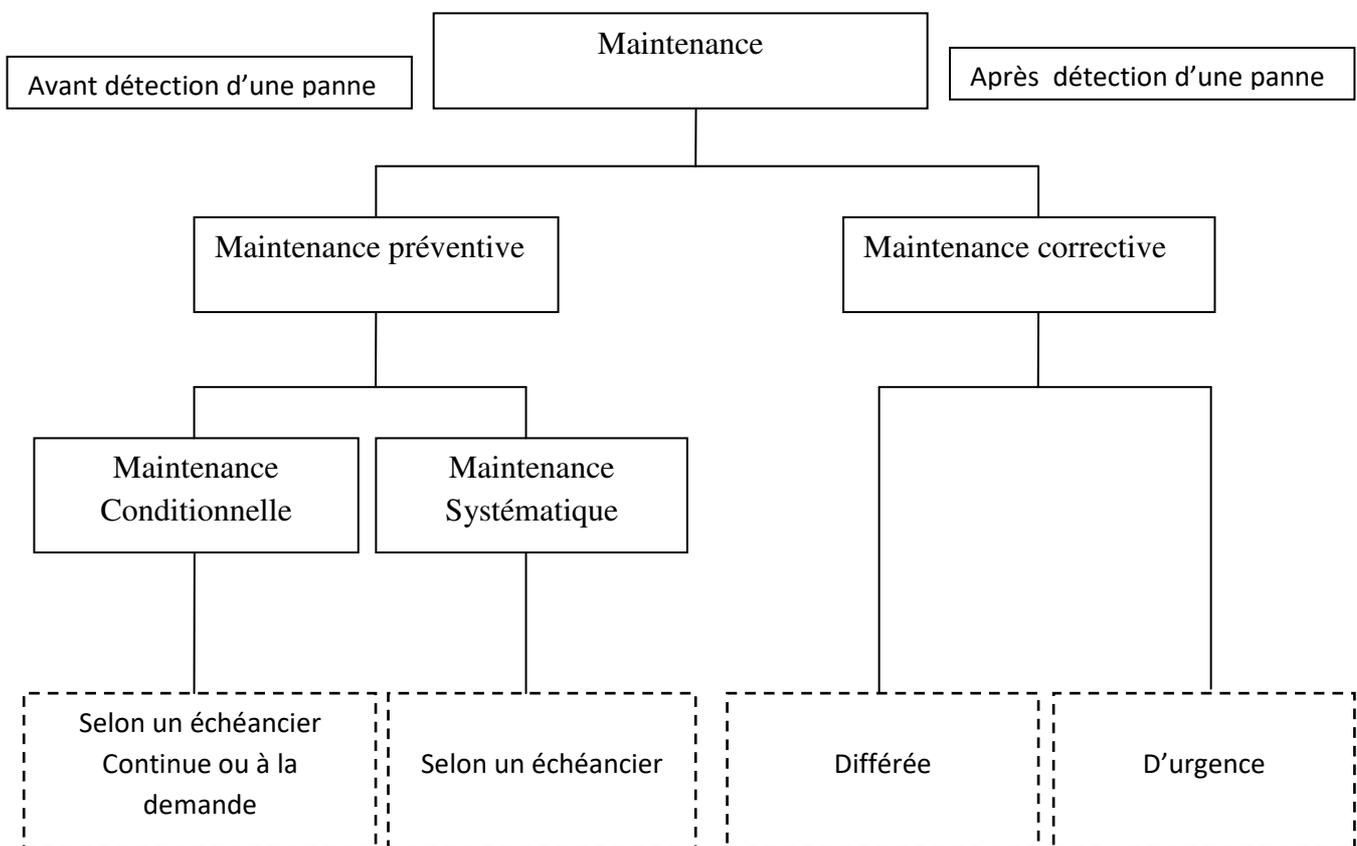


Figure 1.1 : Classification des divers types de maintenance(AFNOR) [4]

### 6.1. La maintenance corrective (MC)

La MC est une "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 maintenance corrective comporte deux types :

**6.1.1. Maintenance palliative**

La maintenance palliative est caractérisée par un caractère temporaire et provisoire. Elle vise à dépanner le système et le remettre provisoirement dans un état qui lui permet d'assurer une partie des fonctions requises. Ce type de maintenance est systématiquement suivi d'un autre type de MC appelé maintenance curative.

**6.1.2. Maintenance curative**

La maintenance curative est une action de MC qui permet de remettre définitivement le système en un état lui permettant d'accomplir ses fonctions requises, l'intervention peut avoir lieu juste après l'apparition d'une défaillance ou après un dépannage. Contrairement à la maintenance palliative, la maintenance curative est une réparation durable [4].

**6.2. La maintenance préventive**

Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement. La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la maintenance. La maintenance préventive comprend :

- les contrôles ou visites systématiques.
- les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôle ou de visites.
- les remplacements systématiques.
- la maintenance conditionnelle ou les contrôles non destructifs.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon » au moyen d'une liste des points à examiner. Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièces de rechange. Il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive. Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable (1 mois, par exemple) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire (donc on n'a pas besoin de la tenir en stock, si le délai normal le permet).

**6.2.1. Maintenance préventive systématique**

- **Visites systématiques**

Les visites sont effectuées selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. À chaque visite, on détermine l'état de l'organe qui sera exprimé soit par une valeur de mesure (épaisseur, température, intensité, etc.), soit par une appréciation visuelle. Et on pourra interpréter l'évolution de l'état d'un organe par les degrés d'appréciation : Rien à signaler, Début de dégradation, Dégradation avancée et Danger. Par principe, la maintenance préventive

systematique est effectuée en fonction des conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps avant l'apparition de la panne.

- **Remplacement systématique**

Selon un échéancier défini, on remplace systématiquement un composant, un organe ou un sous-ensemble complet (il s'agit d'un échange standard).

Dans la mise en place d'une maintenance préventive, il vaut toujours mieux commencer par des visites systématiques, plutôt que par des remplacements systématiques, sauf dans les cas suivants :

- Lorsque les raisons de sécurité s'imposent.
- Lorsque le coût de l'arrêt de production est disproportionné par rapport au coût de remplacement.
- Lorsque le coût de la pièce concernée est si faible qu'il ne justifie pas de visites systématiques.
- Lorsque la durée de vie est connue avec exactitude par l'expérience.

Le risque de remplacement systématique est de changer des éléments encore capables d'assumer le bon fonctionnement pendant un temps non négligeable. La visite systématique permet tout d'abord de capitaliser les expériences sur le comportement des organes soumis aux conditions d'utilisation réelle.

- **Ronde ou visite en marche**

La visite systématique effectuée pendant le fonctionnement permet d'optimiser l'arrêt machine. Pour ce type de maintenance, on suit l'effet de la dégradation ou de l'usure pour éviter le démontage indésirable. Les contrôles sont simples à réaliser : lecture des valeurs des paramètres, examens sensoriels... Les valeurs des paramètres pour un fonctionnement normal sont connues à l'avance.

Tout en respectant les règles de sécurité, une surveillance quotidienne en marche permet de détecter rapidement le début d'une dégradation. La durée et la fréquence de ces opérations sont courtes. Dans la mesure du possible, cette maintenance de premier niveau est confiée aux opérateurs pour les machines de production et aux exploitants pour les utilités. Ce sont eux qui sont le mieux placé pour constater les conditions de l'apparition des pannes.

### **6.2.2. Maintenance préventive conditionnelle**

D'après la définition AFNOR, il s'agit d'une forme de maintenance préventive basée sur une surveillance de fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent. La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé. Cela concerne certains types de défaut, de pannes arrivant progressivement ou par dérive. L'étude des dérives dans le cadre des interventions de maintenance préventive permet de déceler les seuils d'alerte,

tant dans les technologies relevant de la mécanique que celles de l'électronique. Au cours de la conception d'une installation, on définit des tolérances pour certains paramètres. La variation progressive d'un paramètre n'implique pas la défaillance d'un organe. Mais lorsqu'un paramètre sort de la tolérance, le fonctionnement peut être complètement perturbé. Le suivi de l'évolution des paramètres permet de préciser la nature et la date des interventions. Le paramètre suivi peut être :

- Une mesure électrique (tension, intensité...).
- Une mesure de température.
- Un pourcentage de particules dans l'huile.
- Un niveau de vibration.

On choisit comme paramètre à suivre celui qui caractérise le mieux la dégradation des composants ou la cause de la perturbation de fonctionnement[1].

### **6.2.3. Maintenance préventive prédictive (prévisionnelle)**

L'AFNOR (Association Française de Normalisation) définit la maintenance prédictive comme : « une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. »

En effet, la maintenance prédictive repose sur des formules mathématiques en plus des mesures données par les capteurs (e.g. température, vibrations, bruits, etc.), et les actions de maintenance sont programmées en se basant sur l'analyse de ces paramètres. En d'autres termes, les données issues des capteurs sont associées à des modèles mathématiques et stochastiques pour prédire l'évolution de la dégradation dans le temps [5].

## **7. Objectifs visés par la maintenance préventive**

### **7.1. Améliorer la fiabilité du matériel**

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

### **7.2. Garantir la qualité des produits**

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts.

### **7.3. Améliorer l'ordonnancement des travaux**

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production. Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance.

Une bonne coordination entre les techniciens de maintenance et le responsable de fabrication prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

#### **7.4. Assurer la sécurité humaine**

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

#### **7.5. Améliorer la gestion des stocks**

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stocks certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

#### **7.6. Améliorer le climat de relation humaine**

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièce de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- La sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes.
- La fiabilité : amélioration, connaissance des matériels.
- La production : moins de pannes en production [1].

## **8. Les politiques de maintenance**

### **8.1. Définition d'une politique de maintenance**

La politique de la maintenance est la définition, au niveau de l'entreprise, des objectifs technico-économiques relatifs à la prise en charge des équipements par le service maintenance. C'est dans le cadre de cette politique que le responsable du service de maintenance, conjointement à celui du projet, met en œuvre les moyens adaptés aux objectifs fixés ; on parlera alors de stratégie pour le moyen terme et de tactique pour le court terme.

La gestion de maintenance prend essentiellement en compte les aspects technique, économique et financier des différentes méthodes utilisables (corrective, préventive systématique et préventive conditionnelle) en vue d'optimiser la disponibilité des matériels.

**8.2. Politique de maintenance pour les systèmes mono-composants****8.2.1. Politique de maintenance préventive (MP) en fonction de l'âge**

La politique de maintenance la plus courante et la plus populaire pouvait être celle qui dépend de l'âge. Sous cette politique, une unité (composant élémentaire) est toujours remplacée par rapport à son âge  $T$  ou cas de panne, selon l'éventualité qui se produit en premier.

**8.2.2 Politique de maintenance préventive périodique :**

Dans cette politique une unité (composant élémentaire) est préventivement maintenue à des intervalles de temps fixes  $KT$  ( $K=1, 2, 3, \dots$ ) indépendants de l'historique des pannes, et réparée à l'échec intermédiaires où  $T$  est une constante.

Appelé aussi politique de remplacement par bloc, elle tire son nom de la politique courante consistant à remplacer un bloc ou un groupe d'unités dans un système au instant prescrits. Elle est souvent utilisée dans les systèmes multi-composants.

**8.2.3. Politique de la limite de défaillance**

Dans le cadre de la politique de limite de défaillance, la maintenance préventive est effectuée uniquement lorsque le taux de défaillance ou les indices de fiabilité d'un composant atteignent un niveau prédéterminé, et les défaillances intervenantes sont corrigées par des réparations. Cette politique permet à un composant élémentaire de fonctionner au niveau minimum de fiabilité acceptable.

**8.2.4. Politique de MP séquentielle**

Dans cette politique, un composant élémentaire est préventivement maintenu à des intervalles de temps inégaux, contrairement à la politique de maintenance préventive périodique. Habituellement, les intervalles de temps deviennent de plus en plus courts avec le temps, étant donné que la plupart des composants ont besoin de plus en plus de maintenance avec l'âge.

**8.2.5. Politique de la limite de réparation**

Il existe deux types de politique limite de réparation :

- La limite du coût de réparation : Lorsqu'un composant tombe en panne, le coût de réparation est estimé par entreprise si le coût estimé est inférieur à une limite prédéterminée ; sinon l'élément est remplacé.
- La limite de temps de réparation : proposé par Nakagawa  $T$  et Osaki  $S$  en 1974 dit qu'un composant est réparé en cas de défaillance : si la réparation n'est pas terminée dans un délai de temps spécifié  $T$ , il est remplacé par un neuf ; sinon le composant réparé est remis en service.  $T$  est appelé « limite de temps de réparation ».

### **8.2.6. Nombre de réparation et politique de temps de référence**

Cette politique est introduite par Makabe and Morimura en 1963 ; elle dit qu'un composant est remplacé au  $K^{\text{ème}}$  défaillances ; les premières défaillances ( $K=1$ ) sont supprimées par une réparation minimale lors du remplacement, le processus se répète. Cette politique est appelée politique de comptage des nombres de réparation, dans cette politique la variable de décision est  $K$ . Plus tard, Morimura (1970) prolonge cette politique en introduisant une autre variable  $T$  qui est le temps de référence critique (nombre passif).

Dans le cadre de cette politique, toutes les défaillances avant la  $K^{\text{ème}}$  défaillance sont corrigées uniquement avec une réparation minimale. Si la  $K^{\text{ème}}$  défaillance survient avant une accumulation de temps de fonctionnement  $T$ , il est corrigé par une réparation minimale et la panne suivante induit un remplacement du composant, mais si le  $K$  défaillance survient après  $T$  elle induit le remplacement du composant. Dans cette politique les variables de décision sont  $K$  et  $T$ . Si  $T=0$  cette politique se réduit à la politique du comptage du nombre de réparation.

### **8.3. Politiques de maintenance pour les systèmes multi-composants**

Les politiques de maintenance pour les systèmes mono-composants sont valable pour les systèmes multi-composants si il n'existe aucune dépendance (économique, de défaillance, ou structurelle), en considérant chaque sous-système séparément. Cependant, s'il existe une dépendance, par exemple une dépendance économique ; la politique de maintenance qui consiste à considérer chaque sous-système séparément n'est plus optimal.

#### **8.3.1. Politiques de maintenance en groupe**

- La première politique est dépendante de l'âge du groupe, elle demande un remplacement du groupe lorsque le système atteint un âge  $T$ .
- La deuxième politique se réfère au nombre de défaillances du groupe, cette politique appelle à une inspection du groupe lorsque le nombre de défaillances qui sont produites atteint une valeur  $m$ .
- La troisième politique est une combinaison entre les deux politiques précédentes : celle du l'âge  $T$  du groupe et du nombre de défaillances  $m$ . Cette politique demande un remplacement du groupe lorsque le système atteint un âge  $T$  ou lorsque le nombre de défaillances atteint un nombre  $m$  selon la première éventualité.

#### **8.3.2. Politiques de maintenance opportunistes**

Comme indiqué précédemment, la maintenance d'un système à plusieurs composants diffère de celle d'un système mono-composant, car il existe une dépendance dans les systèmes multi-composants. L'une des dépendances est la dépendance économique ; par exemple, c'est possible de faire la maintenance préventive sur des sous-systèmes non défaillants à un coût supplémentaire réduit en même temps que les sous-systèmes défaillants sont en cours de réparation [6].

## **9. Politique de maintenance selon l'âge et Politique de maintenance périodique**

### **9.1. Politique de maintenance préventive selon l'âge**

La politique de maintenance la plus courante et la plus populaire pourrait être celle qui dépend de l'âge. Les études sur cette dernière remontent à la fin des années 1950. Sous cette politique, une unité (ou composant) est remplacé à un âge  $T$  ou en cas de défaillance, selon la première éventualité ( $T$  est une Constante). Dans le cadre de ce type de politique, l'unité est maintenue préventivement à un certain âge prédéterminé  $T$ , ou réparée en cas de panne, jusqu'à ce qu'une maintenance parfaite, préventive ou corrective, soit reçue. Il faut noter que l'opération de maintenance peut être minimale, imparfaite, ou parfaite.

Classiquement, les actions de maintenance (préventive ou corrective) sont supposées soit inefficaces, soit elles remettent le système à son état neuf. Le remplacement d'un ou plusieurs composant peut causer une amélioration de l'état du système mais ne le remet pas à son état neuf.

- La maintenance minimale suppose que l'action de maintenance remet le système, après l'intervention, à son état juste avant l'intervention. Dans ce cas, l'effet de maintenance est nul.
- La maintenance parfaite suppose que toutes les actions de maintenance remettent le système à son état neuf. Dans ce cas, l'effet de maintenance est maximal.
- La maintenance imparfaite : Lors des interventions de maintenance, le système peut subir des remplacements d'un ou plusieurs composant, des réglages, des rectifications,....etc. Dans ce cas, le système est dans un état meilleur que vieux.

Si  $T$  est une variable aléatoire, la politique est appelée politique d'entretien aléatoire dépendant de l'âge qui est en vigueur lorsqu'il est impossible de maintenir l'unité de façon strictement périodique. Par exemple, une unité donnée peut avoir un cycle de travail variable de sorte que la maintenance en milieu de cycle soit impossible ou peu pratique. Dans cette éventualité, la politique de maintenance devrait être aléatoire, prenant avantage de tout temps libre disponible pour effectuer la maintenance. Dans la politique de remplacement selon l'âge, les articles sont remplacés s'ils atteignent un certain âge  $T$ , Cet âge est mesuré à partir du moment du dernier remplacement. Si seulement une réparation minimale est entreprise en cas d'échec, la politique de remplacement d'âge est équivalente à la « Politique de remplacement périodique avec une réparation minimale en cas de panne » [7].

En considère une politique de remplacement selon l'âge dans laquelle une unité est remplacée à temps constant  $T$  après son installation ou en cas de panne, selon la première éventualité. Nous appelons un temps spécifié  $T$  le temps de remplacement prévu qui s'étend sur  $[0, \infty]$ . Une telle politique de remplacement est optimal parmi toutes les politiques raisonnables. L'événement  $\{T = \infty\}$  représente qu'aucun remplacement n'est effectué du tout. Il est supposé que les pannes sont instantanément détectées et chaque unité défectueuse est remplacée par une neuf, où son temps de remplacement est négligeable, et donc, une nouvelle unité installée commence à fonctionner instantanément. De plus, supposons que le temps de défaillance  $x_k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) de chaque unité est indépendant et a une distribution identique.

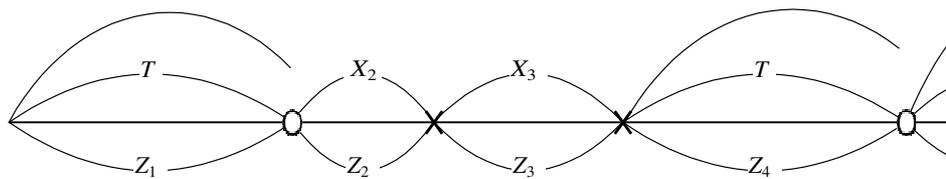


Figure 1.2: Processus de remplacement selon l'âge T [7]

O : Remplacement planifié à l'âge T ;

X : Remplacement à la défaillance.

$F(t) \equiv \Pr \{X_k \leq t\}$  de moyenne finie  $\mu$ ,  $\bar{F} = 1 - F = R$

C'est-à-dire :

$$\mu = \int_0^{+\infty} R(t)dt < \infty \tag{1.1}$$

Une nouvelle unité est installée au temps  $t = 0$ . Ensuite, une procédure de remplacement d'âge génère un processus de renouvellement comme suit ; soit  $X_k$  les temps de défaillance des unités opérationnelles successives  $\{k \text{ varie de } 1 \text{ jusqu'à } \infty\}$ . Définir une nouvelle variable aléatoire  $Z_k \equiv \min \{X_k, T\}$  ( $k = 1, 2, \dots$ ). Ensuite,  $Z_k$  représente les intervalles entre les remplacements causés par des pannes ou des remplacements planifiés comme le montre la figure 2.a.

Une suite de variables aléatoires  $Z_k \{k \text{ varie de } 1 \text{ jusqu'à } \infty\}$  est indépendamment et identiquement distribué, et forme un processus de renouvellement tel que décrit dans la section 2.a, et a une distribution identique :

$$\Pr\{Z_k \leq t\} = \begin{cases} F(t) & \text{pour } t < T \\ 1 & \text{pour } t \geq T \end{cases} \tag{1.2}$$

Nous considérons le problème de la minimisation du coût attendu par unité de temps pour une durée infinie. Introduisez les coûts suivants. Le coût  $C_1$  est encouru pour chaque unité défectueuse qui est remplacée (maintenance corrective) ; cela inclut tous les coûts résultant d'un échec et son remplacement. Le coût  $C_2$  est encouru pour chaque unité non défaillante qui est échangé (maintenance préventive).

Aussi, soit  $N_1(t)$  le nombre de pannes pendant  $[0, t]$  et  $N_2(t)$  désigne le nombre d'échanges d'unités non défaillantes pendant  $[0, t]$ . Alors, le coût attendu pendant  $[0, t]$  est donné par :

$$\hat{C}(t) \equiv C_1 E \{N_1(t)\} + C_2 E \{N_2(t)\} \quad (1.3)$$

Lorsque la planification est infinie, il convient d'adopter le coût prévu par unité de temps

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\hat{C}(t)}{t} \quad (1.4)$$

Comme fonction objectif.

Nous appelons l'intervalle de temps d'un remplacement au remplacement suivant comme un cycle. Ensuite, les paires de temps et de coût sur chaque cycle sont indépendamment et distribués de manière identique, et les deux ont des moyennes finies. Ainsi, le coût attendu par unité de temps pour une durée infinie est :

$$C(T) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\hat{C}(t)}{t} = \frac{\text{Coût attendu d'un cycle}}{\text{Temps moyen d'un cycle}} \quad (1.5)$$

Nous appelons  $C(T)$  le taux de coût attendu et l'adoptons généralement comme objectif fonction d'un problème d'optimisation.

Lorsque nous définissons un remplacement planifié au temps  $T$  ( $0 < T \leq \infty$ ) pour une unité avec le temps de défaillance  $X$ , le coût attendu d'un cycle est :

$$C_1 \Pr\{X \leq T\} + C_2 \Pr\{X > T\} = C_1 F(T) + C_2 \bar{F}(T) \quad (1.6)$$

Et le temps moyen d'un cycle est :

$$\int_0^T t d \Pr\{X \leq t\} + T \Pr\{X > T\} = \int_0^T t d F(t) + T R(t) = \int_0^T R(t) dt \quad (1.7)$$

Ainsi, le taux de coût attendu est :

$$C(T) = \frac{C_1 F(T) + C_2 R(T)}{\int_0^T R(t) dt} \quad (1.8)$$

Avec :

$C_1$  = coût de remplacement correctif ou en cas de défaillance

$C_2$  = coût de remplacement préventif ou à temps planifié  $T$ , avec ( $C_1 > C_2$ ) [7].

Si  $T = \infty$  alors la politique correspond au remplacement uniquement en cas de panne, et le taux de coût prévu est :

$$C(\infty) = \lim_{T \rightarrow \infty} C(T) = \left(\frac{C_1}{\mu}\right) \tag{1.9}$$

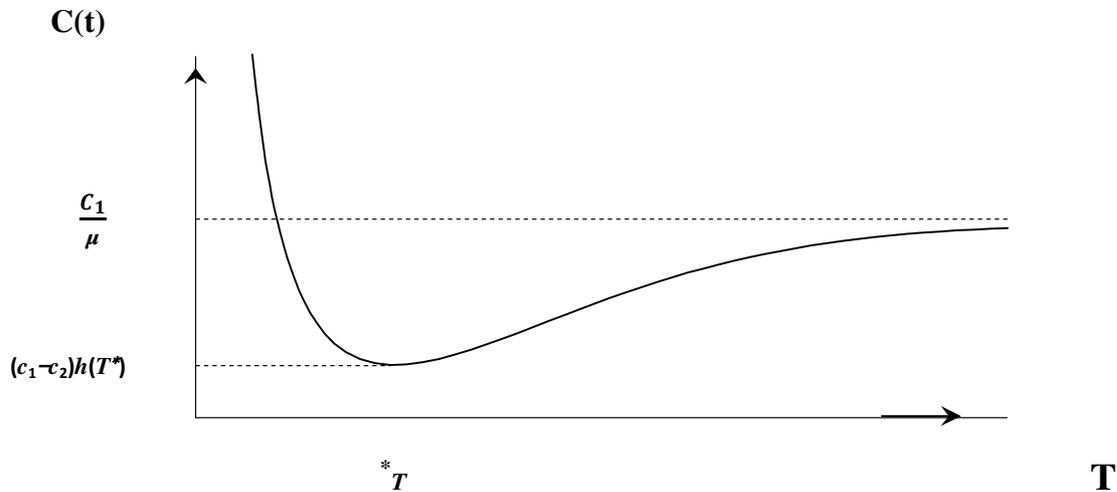


Figure 1.3 : Taux de coût prévu  $C(t)$  du remplacement selon l'âge avec temps prévu [7]

$T^*$  : représente la valeur du temps optimale pour le quelle, la valeur du coût est minimale.

## 9.2 Politique de maintenance préventive périodique

Lorsque nous considérons des systèmes vastes et complexes constitués de nombreux types d'unités, nous ne devrions faire qu'une réparation minimale à chaque panne, et faire le remplacement planifié ou entretien préventif à des moments périodiques. Une unité est remplacée périodiquement au nombre de fois  $kT$  ( $k = 1, 2, \dots$ ). Seule une réparation minimale après chaque panne est effectuée afin que le taux de défaillance ne soit pas perturbé par toute réparation de défaillances entrées successives. Cette politique est couramment utilisée avec des systèmes complexes tels que : (les ordinateurs et les avions...); Une procédure pratique a été donnée pour appliquer cette politique aux gros moteurs et aux petites pièces électriques.

### 9.2.1 Définition de la réparation minimale :

Supposons qu'une unité commence à fonctionner au temps 0. Si une unité tombe en panne, elle subit une réparation minimale et recommence à fonctionner. On suppose que le temps pour la réparation est négligeable. Notons  $0 \equiv Y_0 \leq Y_1 \leq \dots \leq Y_n \leq \dots$  le temps de défaillance successifs d'une unité ; et les temps entre les pannes  $X_n \equiv Y_n - (Y_n - 1)$ . ( $n = 1, 2, \dots$ ) sont des variables aléatoires non négatives.

Nous définissons comme suit une réparation minimale en cas de panne :

Soit  $F(t) \equiv \Pr \{X_1 \leq t\}$  pour  $t \geq 0$ . Une unité subit une réparation en cas de panne si et seulement si :

$$\Pr \{X_n \leq x / X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1} = t\} = \frac{F(t+x) - F(t)}{R(t)} \quad (1.10)$$

( $n = 2, 3, \dots$ )

Pour  $X > 0, t \geq 0$  tel que  $F(t) < 1$ , avec  $\bar{F}(t) = 1 - F(t) = R(t)$ .

La fonction  $[F(t+x) - F(t)] / R(t)$  est appelée taux d'échec et représente la probabilité qu'une unité d'âge  $t$  échoue dans un intervalle fini  $[t, t+x]$ . Cette définition signifie que le taux d'échec n'est pas perturbé par une réparation minimale des pannes; c'est-à-dire qu'une unité après chaque réparation minimale au même taux de défaillance comme avant l'échec.

Supposons que  $F(t)$  a une fonction de densité  $f(t)$  et  $h(t) \equiv f(t) / R(t)$  qui est continue. La fonction  $\lambda(t)$  ou  $h(t)$  est également appelée taux de défaillance instantané ou simplement le taux d'échec et a la même propriété monotone que  $[F(t+x) - F(t)] / R(t)$ ; de plus

$$H(t) = \int_0^t h(u) du \quad (1.11)$$

S'appelle la fonction de hasard cumulatif et satisfait la relation :

$$R(t) = e^{-H(t)} \quad (1.12)$$

### 9.2.2. Remplacement périodique avec réparation minimale

Une nouvelle unité commence à fonctionner au temps  $t = 0$ , et lorsqu'elle échoue, seulement une réparation minimale est effectuée. De plus, une unité est remplacée à des instants périodiques  $kT$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) indépendamment de son âge, et toute unité devient comme neuve après le remplacement (Figure 2.3). On suppose que les délais de réparation et de remplacement soient négligeables. Supposons que les temps de défaillance d'une unité aient une fonction de densité  $f(t)$  et une distribution  $F(t)$  de moyenne finie :

$$\mu = \int_0^{+\infty} R(t) dt < \infty \quad (1.13)$$

et son taux d'échec :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.14)$$



ou :

$$\int_0^T t d \lambda(t) = \frac{C_p}{C_c} \tag{1.21}$$

Supposons que le taux de défaillance  $\lambda(t)$  soit continu et strictement croissant. Ensuite, le côté gauche de (\*) est également strictement croissant car :

$$(T + \Delta T)\lambda(T + \Delta T) - H(T + \Delta T) - T \lambda(T) + H(T) = T [\lambda(T + \Delta T) - \lambda(T)] +$$

$$\int_T^{T+\Delta T} [\lambda(T + \Delta T) - \lambda(t)] dt > 0 \tag{1.22}$$

Pour tout  $\Delta T > 0$ . Ainsi, si une solution  $T^*$  à (A) existe alors elle est unique, et le taux de coût résultant est:

$$C(T^*) = C_c \lambda(T^*) \tag{1.23}$$

De plus, si

$$\int_0^\infty t d \lambda(t) > C_p / C_c \tag{1.24}$$

alors il existe une solution finie à l'équation (1.21).

Aussi, à partir de (1.21):

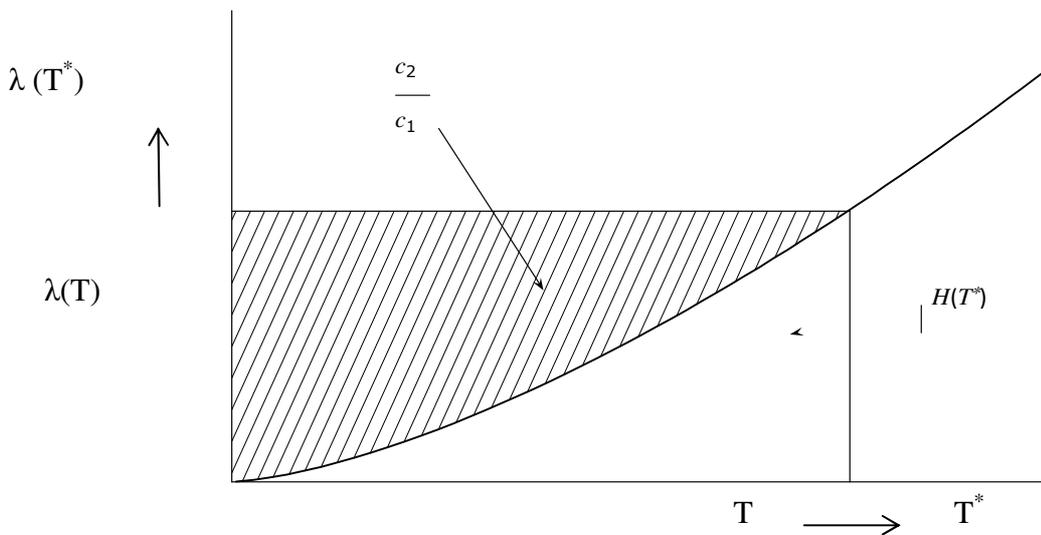


Figure 1.5: T optimum pour le taux de défaillance  $\lambda(T)$  [7]

$$T\lambda(T) - H(T) > T_1 \lambda(T) - H(T_1) \quad (1.25)$$

Pour tout  $T > T_1$ . Ainsi, si  $\lambda(t)$  est strictement croissant jusqu'à l'infini alors il existe un  $T^*$  fini et unique qui satisfait (1.21) [7].

## 10. Conclusion

Ce chapitre introduit une définition pour la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique, ainsi le coût spécifique de réparation dans chaque politique.

***Chapitre 2:***  
***Rappels sur la fiabilité et le***  
***cadre d'étude***

## 1. Introduction

Souvent l'évaluation des systèmes est basée sur la fiabilité, qui l'étude et la prévision des défaillances qui influents sur les différents composants de ce système. On dit qu'un système ou un composant est fiable lorsque la probabilité de défaillance de ce dernier est minimale ie : la probabilité de remplir sa mission sans pannes est maximale.

## 2. Historique de groupe *Cevital*

*Cevital* est un Groupe familial qui s'est bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée. Première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiés, elle a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelle.

Industrie agroalimentaire et grande distribution, électronique et électro-ménager, sidérurgie, industrie du verre plat, construction industrielle, automobile, services, médias... Le Groupe *Cevital* s'est construit, au fil des investissements, autour de l'idée forte de constituer un ensemble économique.

Porté par 18 000 employés répartis sur 3 continents à près de 100 000 en 2025 et investir massivement dans la formation, il représente le fleuron de l'économie algérienne, et œuvre continuellement dans la création d'emplois et le recrutement de talents.

Fondateur du Groupe *Cevital*, ISSAD REBRAB est né en 1944. Il crée son cabinet d'expert-comptable en 1968, puis se lance dès 1971 dans l'entrepreneuriat. À la tête du Groupe *Cevital*, il n'a cessé de le faire grandir en diversifiant ses activités, pour compter aujourd'hui 26 filiales dans l'industrie, l'agro-alimentaire, la grande distribution ou encore l'automobile.

Le démarrage et le développement de l'entreprise *Cevital* se fait progressivement :

- 1971 : Lancement de la construction métallique comme suit :
  - ✓ 1975 : PROFILOR (création).
  - ✓ 1979 : SOTECOM (acquisition).
  - ✓ 1984 : SACM (acquisition).
  - ✓ 1985 : ENALUX (création).
  - ✓ 1986 : NORD METAL (création).
  - ✓ 1986 : METALLOR (création).
  
- 1988 : Création de METAL SIDER (sidérurgie).
- 1991 : reprise des activités I.B.M EN ALGERIE / Création du quotidien « LIBERTE ».
- 1997 : Création de HYUNDAI MOTORS ALGERIE.
- 1998 : Création de CEVITAL SPA INDUSTRIES agroalimentaires.
- 2006 : Création de NUMIDIS ET IMMOBIS et ACQUISITION DE COJEK.
- 2007 : SAMHA – production & distribution SAMSUNG / Création MFG (verre plat).

- 2008 : NOLIS - Transport Maritime / Commercialisation du verre plat en EUROPE / Création de NUMILOG.
- 2009 : Augmentation de la production de sucre de 1 M T/AN.
- 2013 : OXXO (FRANCE) / ALAS (ESPAGNE).
- 2014 : BRANDT (FRANCE) / AFFERPI (ITALIE) EX LUCCHINI PIOMBINO.

L'idée est de faire passer l'Algérie dans l'économie de l'après-pétrole, du stade importateur au stade exportateur, en faire le nouveau dragon de l'Afrique, une puissance économique émergente qui tire la croissance mondiale, libère les initiatives, crée de l'emploi et des richesses et se hisse au rang des nouvelles nations industrialisées.

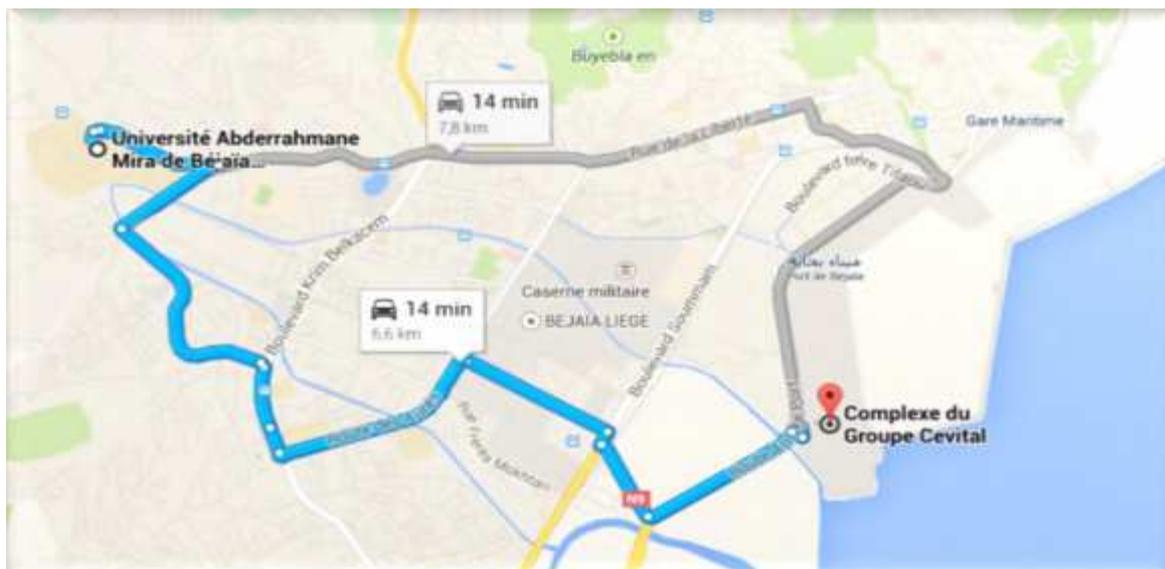
Le chiffre d'affaires de *Cevital* a été multiplié par 100 en 15 ans. Le groupe compte de multiplier ce chiffre par 7 à horizon 2025 et passer de 4 milliards de dollars actuellement à 25 milliards de dollars en 2025.

Le groupe possède des unités de production de taille mondiale, équipées des technologies les plus évoluées. La stratégie du Groupe s'appuie sur une forte compétitivité en termes de prix, de qualité, de volumes, de logistique, de robotisation, de Co-localisation.

Une place de choix est également accordée à la Recherche et Développement, à l'innovation et au talent des collaborateurs. Ces atouts compétitifs forment le socle d'une industrie dynamique, exportatrice.

### **2.1 Situation géographique de CEVITAL :**

Cette entreprise occupe une place très stratégique (près de port et de l'aéroport). Elle est implantée au niveau de quai du port de Bejaia et seulement à 3km du centre-ville. CEVITAL se situe aussi à proximité de la RN26, pas loin de la gare routière qu'elle lui confère beaucoup d'avantages.



**Figure2.1 : Un capteur d'écran sur Google Maps lorsque nous avons visité le site**

## **2.2 Les activités de l'entreprise**

L'ensemble des activités de Cevital est concentré sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre et la production de l'énergie électrique, elle se présente comme suit:

- Raffinage des huiles (1800 tonnes/jour).
- Conditionnement d'huile (1400 tonnes/jour).
- L'entreprise produit aussi des huiles végétales avec une capacité de production de 570 000 t par an, soit 140% des besoins algériens, et l'entreprise exporte vers les pays du Maghreb et du moyen orient.
- Production de margarine (600 tonnes/jour).
- Fabrication d'emballage (PET) : Poly-Éthylène-Téréphtalate (9600 unités/heure).
- Raffinage du sucre (1600 tonnes/jour), dont 1 million tonnes pour le marché local (2013) ; il était prévu d'exporter 600 000 tonnes en Afrique de l'Ouest, en moyen orient et aussi vers l'Europe.
- Cevital fournit aussi du sucre liquide à l'industrie algérienne des boissons.
- Stockage des céréales (120000 tonnes).
- Minoterie et savonnerie en cours d'étude.
- Cogénération (production de l'énergie électrique avec une capacité de 64MW).

## **2.3 Missions et objectifs**

L'entreprise a pour mission principale de développer la production et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser. Les objectifs visés par Cevital peuvent se présenter comme suit :

- L'extension de ses produits sur tout le territoire national.
- L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail.
- L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses.
- La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production.
- Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations [8].

## **3. Description de l'unité de conditionnement de sucre**

Le bâtiment du conditionnement de sucre à une superficie totale de 1131.9 m<sup>2</sup> et un effectif de 430 employés des différents services production, maintenance et expéditions.

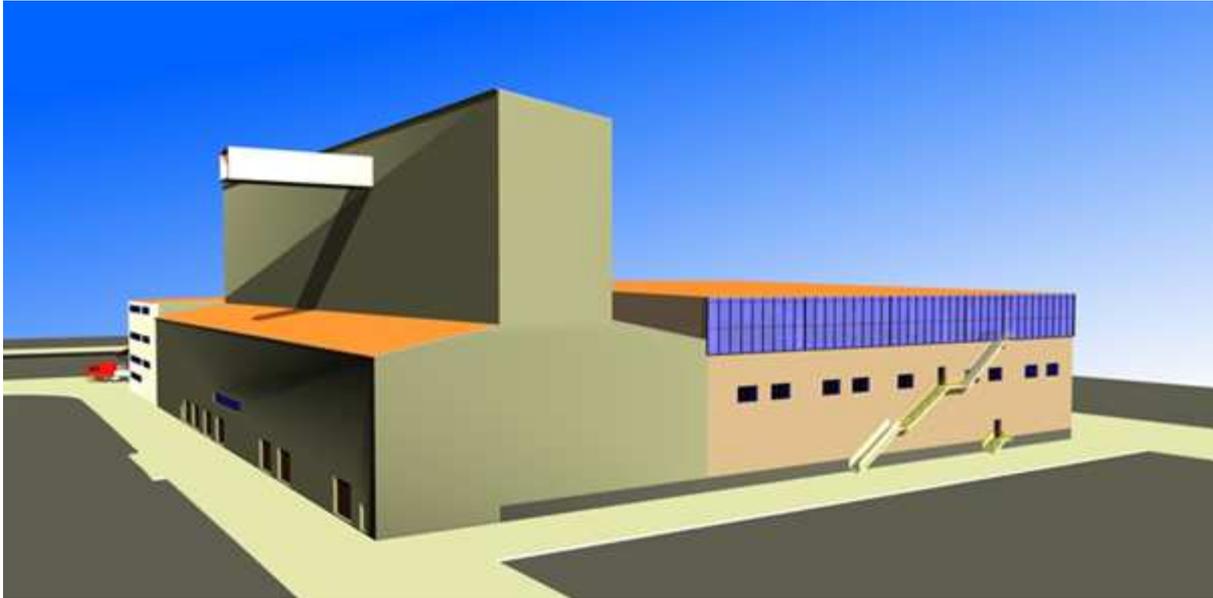


Figure 2.2 : Vue générale du bâtiment [9]

### 3.1 Les équipements utilitaires

- ✓ 03 Compresseurs ATLAS COPCO.
- ✓ 01 Sécheur ATLAS COPCO.
- ✓ 01 Dépoussiéreur NEXAIR.
- ✓ 01 Dépoussiérage PALAMATIC.
- ✓ 01 Nettoyage centralisé NEXAIR.
- ✓ 01 Récupérateur de déchets NEXAIR.
- ✓ 04 Transporteurs à bande TBRS1/2/3/4.
- ✓ 01 Transformateur principale.
- ✓ 11 Quais d'expéditions.
- ✓ 09 Trémies de 40 tonnes.
- ✓ 04 trémies de 750 kg.

### 3.2 Les lignes de conditionnement

- a. 06 lignes de conditionnement SKOR 1 kg SMI composées de :
  - 24 Conditionneuses 1 kg ROVEMA.
  - 20 Dateurs à transfert thermique Domino.
  - 4 Dateurs numériques VIDEOJET.
  - 24 Peseuses de Contrôle OCS.
  - 06 Fardeleuses SMI.
  - 06 Diviseurs SMI.
  - 03 Palettiseurs TMG.



Figure 2.3 : Sac de 1 kg du sucre blanc cristallisé [9]

- b. 01 Ligne de conditionnement SKOR 1 kg BB & MAFF composée de :
  - ✓ 04 Conditionneuses 1 kg ROVEMA.
  - ✓ 04 Dateurs à transfert thermique Domino.
  - ✓ 04 Peseuses de contrôle OCS.
  - ✓ 01 Fardeleuse BB & MAFF.
  - ✓ 01 Palettiseur TMG.
  - ✓ 01 Housseuse BOCEDE
- c. 01 Ligne de conditionnement SKOR 5 kg :



Figure 2.4 : Sac de 5 kg du sucre blanc cristallisé [9]

- d. 02 Lignes de conditionnement de sucre Morceaux :



Figure 2.5: Sucre blanc en morceaux [9]

- e. 02 Lignes de conditionnement du sac verseur 1 Kg :



Figure 2.6: Sac verseur de 1 Kg du sucre blanc [9]

- f. 04 Lignes de conditionnement du sac Big Bag :



Figure 2.7: Big Bag de 1100 Kg du sucre blanc [9]

### 3.3 Procédure de démarrage de la production 1 kg

#### 3.3.1 Démarrage des équipements utilitaires

- a. Démarrer le Sécheur d'air:
- ✓ Ouvrir les vannes d'entrée et de sortie.
  - ✓ Mettre sous tension.
  - ✓ Réarmer et démarrer.
  - ✓ Acquitter tous les défauts.
- b. Démarrer les compresseurs :
- ✓ Vérifier le niveau de l'huile.
  - ✓ Ouvrir les vannes de sortie.
  - ✓ Mettre sous tension.

- ✓ Acquitter tous défauts.
- ✓ Réarmer et démarrer deux compresseurs et le troisième en alternance.
- ✓ Purger les compresseurs.
- ✓ Vérifier la pression de sortie à 7bar.
- c. Démarrer le dépoussiérage :
  - ✓ Vérification du Big Bag.
  - ✓ Mettre sous tension.
  - ✓ Acquitter tous défauts.
  - ✓ Réarmer et démarrer l'équipement a une pression de -2bar.
- d. Démarrer le récupérateur de déchets :
  - ✓ Vérifier le fil d'attache balle de la presse.
  - ✓ Mettre sous tension.
  - ✓ Acquitter tous défauts.
  - ✓ Réarmer et démarrer la presse à balle
  - ✓ Réarmer et démarrer l'aspirateur.
- e. Démarrer le nettoyage centralisé :
  - ✓ Vérifier le big bag.
  - ✓ Mettre sous tension.
  - ✓ Acquitter tous défauts.
  - ✓ Réarmer et démarrer l'équipement à une pression de -6bar.

### **3.3.2 Démarrage de l'envoi de sucre**

Le sucre blanc raffiné mûré est stocké au niveau des silos (A, B, C, D et E) d'où tout est contrôlé via une application de commande des TBRS en provenance des silos vers l'unité de conditionnement de sucre 1kg par un opérateur de la salle de contrôle :

- ✓ Vérifier l'aimant OPRP2 de chaque trémie.
- ✓ Mettre sous tension les TBRS.
- ✓ Acquitter tous défauts.
- ✓ Démarrer les TBRS2, TBRS3 et TBRS4 automatiquement avec l'ouverture manuelle de la vanne de chaque trémie.
- ✓ Démarrer le TBRS1 et A1008N.
- ✓ Faire appel produit à l'opérateur de désilage pour.
- ✓ Observer le débit d'envoi (affiché) qui ne doit pas dépasser 300 tonne/heure.
- ✓ La fermeture de la vanne et du tapis de chaque trémie se fera automatiquement une fois que le niveau atteint 90% de la capacité totale de la trémie qui est à 40 tonnes.

### **3.3.3 Démarrage des équipements avec produit**

- a. Démarrer la conditionneuse :
  - ✓ Ouvrir la vanne d'alimentation de produit
  - ✓ Vérifier la présence de sucre au niveau du doseur.
  - ✓ Activer doseur.
  - ✓ Chute simple.

- ✓ Démarrer la conditionneuse.
  - ✓ Vérifier la bonne qualité du sac, daté, compacté, soudé.
- a. Démarrer le diviseur :
- ✓ Le démarrage se fait automatiquement une fois que les capteurs d'entrée détectent la présence du produit.
  - ✓ Vérifier la bonne division des quatre lignes d'entrée sur les cinq lignes de sortie.
- b. Démarrer la fardeleuse :
- ✓ Le démarrage se fait automatiquement une fois que les capteurs d'entrée détectent la présence du produit qui sera séparé dans des paquets de dix sacs et enveloppé.
  - ✓ Vérifier la bonne soudure des fardeaux à la sortie du four.
- c. Démarrer du palettiseur :
- ✓ Le démarrage se fait automatiquement une fois que le capteur d'entrée détecte la présence des fardeaux qui seront empilés en six couches de quinze fardeaux
- d. Démarrer la housseuse :
- ✓ Le démarrage se fait automatiquement une fois que les capteurs d'entrée détectent la présence de la palette qui sera centré, housé et envoyé directement à la zone de stockage du produit fini [9].

## 4. Fonctions statistiques utilisées en fiabilité

Le temps d'apparition de la défaillance d'un dispositif est imprévisible et possède un caractère aléatoire. Nous dirons que c'est une variable aléatoire. On appelle variable aléatoire T une variable telle qu'à chaque valeur t de T, on peut associer une probabilité. La correspondance entre cette variable aléatoire et la probabilité qui lui est associée établit une loi de probabilité.

### 4.1 Fonction de fiabilité :

La fiabilité à l'instant t correspond à la probabilité que le système n'ait pas subi de défaillance durant sa durée de vie T. En d'autres termes, c'est la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période [0, T]. La fonction de fiabilité (ou de survie) notée R(t) peut s'exprimer comme suit :

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.1)$$

### 4.2 Fonction de répartition :

La fonction de répartition F(t) représente la probabilité d'avoir au moins une défaillance pendant la période [0, T] ; elle peut être notée comme suit :

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

#### 4.3 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 :

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

#### 4.4 Taux de défaillance :

Le taux de défaillance instantané  $\lambda(t)$  représente la probabilité qu'une entité perd sa capacité à accomplir sa fonction dans l'intervalle de temps  $[t, t + dt]$ , sachant qu'elle a fonctionné entre  $[0, t]$ .

Elle est donnée par :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

#### 4.5 Espérance mathématique :

L'espérance mathématique représente la moyenne des temps de bon fonctionnement (Mean Up Time (MUT)).

$$MUT = E(t) = \int_0^t xf(x)dx \quad (2.5)$$

### 5. Lois de probabilité usuelles utilisées 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 et la loi de Weibull.

#### 5.1 Loi exponentielle :

La loi exponentielle est applicable dans plusieurs domaines. Elle est souvent utilisée pour décrire la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales, ce qui justifie sa réputation dans le domaine de la fiabilité électronique. Cette loi est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance  $\lambda$ .

Elle est caractérisée par :

– La fiabilité :

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.6)$$

– La densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \tag{2.7}$$

– Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \lambda \tag{2.8}$$

– La durée de vie moyenne :

$$MUT = \frac{1}{\lambda} \tag{2.9}$$

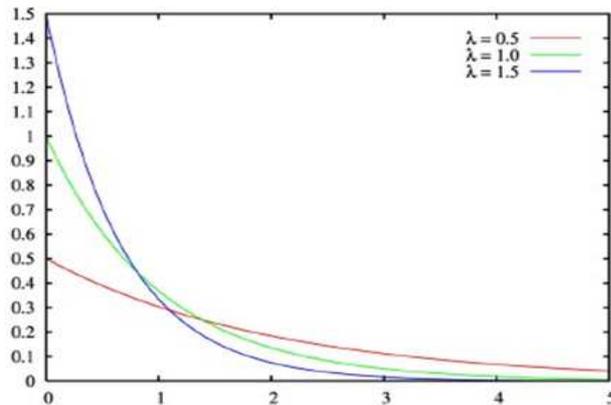


Figure 2.8 : Fonction de densité de probabilité-loi exponentielle [10]

### 5.2 Loi de Weibull

La loi de Weibull est la loi la plus populaire dans le domaine de la fiabilité. Cette popularité est due notamment à sa forme flexible et au fait qu'elle englobe d'autres lois de probabilité (i.e. loi exponentielle et loi de Rayleigh). Elle est souvent définie par deux paramètres, le paramètre de forme  $\beta$  et le paramètre d'échelle  $\eta$ . Un troisième paramètre est parfois considéré, le paramètre de localisation  $\gamma$ , il permet de prendre en considération un éventuel décalage du point de départ de la courbe par rapport à l'origine.

La loi de Weibull est caractérisée par :

-La fiabilité :

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right) \tag{2.10}$$

– La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right) \tag{2.11}$$

– Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.12)$$

– La durée de vie moyenne :

$$MUT = (\eta - \gamma) \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.13)$$

Où  $\Gamma$  est la fonction gamma d'Euler, définie par :

$$\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} \exp(-t) dt \quad (2.14)$$

Signification des paramètres de la loi de Weibull :

Paramètre de forme  $\beta$  : Comme nous pouvons le constater, le taux de défaillance de la loi de Weibull est une loi de puissance du temps.

Paramètre d'échelle  $\eta$  : Il prend l'unité du temps (i.e. même unité que celle de l'échantillon des temps à la défaillance). Il est aussi appelé durée de vie caractéristique.

En effet, lorsque  $t - \gamma = \eta$ , alors  $F(t) = 63\%$ .

Paramètre de localisation  $\gamma$  : Il est aussi dans la même unité que le temps. Dans la plupart des cas, le paramètre de localisation est considéré nul (i.e.  $\gamma = 0$ ) et la loi de Weibull est ramenée à deux paramètres. Deux cas peuvent être considérés :

➤ Si  $\gamma < 0$ , on peut dire que le système a subi une dégradation avant sa mise en service industrielle.

➤ Si  $\gamma > 0$ , veut dire que le matériel n'a commencé à se dégrader qu'à la date  $t = \gamma$  [10].

## 6. Description générale du compresseur :

Atlas Copco Algérie spa filiale du groupe ; Présente depuis 1947 en Algérie, Atlas Copco offre une gamme complète de compresseurs industriels, d'équipements de traitement d'air, de compresseurs mobiles, de groupes électrogènes, ainsi que le matériels de forage et de démolition, cette offre comprend également l'assistance technique, le suivi et pièces de rechanges.

Les compresseurs GA sont des compresseurs à vis à injection d'huile, entraînés par un moteur électrique et enfermés dans un capotage insonorisant. Les compresseurs GA 90+ et GA 110 à GA 160 sont des compresseurs refroidis par air. Les compresseurs GA sont mono-étagés.



**Figure 2.9: Compresseur ATLAS COPCO [11]**

### 1 Moteur à haute efficacité

- Moteur TEFC IP55 (isolation de classe F, montée de température de type B) protégé contre la poussière et les agents chimiques.
- Fonctionnement continu à des températures ambiantes jusqu'à 55 °C / 131 °F (standard jusqu'à 46 °C / 115 °F).

### 2 Élément à vis à la pointe de la technologie

- Rotors à profils asymétriques brevetés et roulements soigneusement sélectionnés.
- Usure réduite et fiabilité accrue.
- Fiabilité éprouvée avec des milliers d'installations dans le monde.

### 3 Module de refroidissement

- Refroidisseur final et refroidisseur d'huile séparés pour une plus haute efficacité.
- Ventilateurs axiaux alimentés par des moteurs électriques TEFC séparés (protection IP55).
- Faible niveau de bruit.

### 4 Transmission à entraînement par engrenage

- Aucun entretien nécessaire : fermeture totale et protection intégrale contre la saleté et la poussière.
- Plage de fonctionnement optimale de l'élément à vis.
- Accouplement Bowex absorbant la poussée axiale et améliorant la fiabilité

**5 Facilité d'entretien**

- Choix de consommables hautement durables.
- Accès simple et sécurisé à toutes les pièces d'entretien.
- Système de coulissement unique pour accéder aux refroidisseurs d'huile

**6 Soupape de charge/décharge optimisée**

- Maintien d'une pression optimisée constante au sein du système, pour des économies d'énergie importantes.
- Configuration simple sans entretien avec peu de pièces mobiles, pour une fiabilité inégalable.
- Contrôle précis grâce à l'électrovanne

**7 Air de qualité supérieure**

- Séparateur d'eau intégré avec purge électronique éliminant 100 % des condensats.
- Full Feature avec sécheur intégré (jusqu'à 315 kW).

**8 Facilité d'installation**

- Bac de rétention d'huile de série.
- Ensemble tout-en-un, sans coûts cachés.
- Plusieurs possibilités de gainage

**9 Filtre d'entrée d'air de qualité supérieure**

- Protection des composants du compresseur grâce à l'élimination de 99,9 % des particules de poussière supérieures à 3 µm.
- Réduit la quantité de poussière dans le filtre fin et double la longévité de l'élément filtrant sans amoindrir l'efficacité du filtrage.

**10 Elektronikon® : la surveillance avancée**

- Algorithmes intelligents intégrés réduisant la pression du réseau et la consommation d'énergie.
- Fonctions de surveillance comprenant indications d'alarmes, planification de la maintenance et visualisation des conditions d'utilisation de la machine.

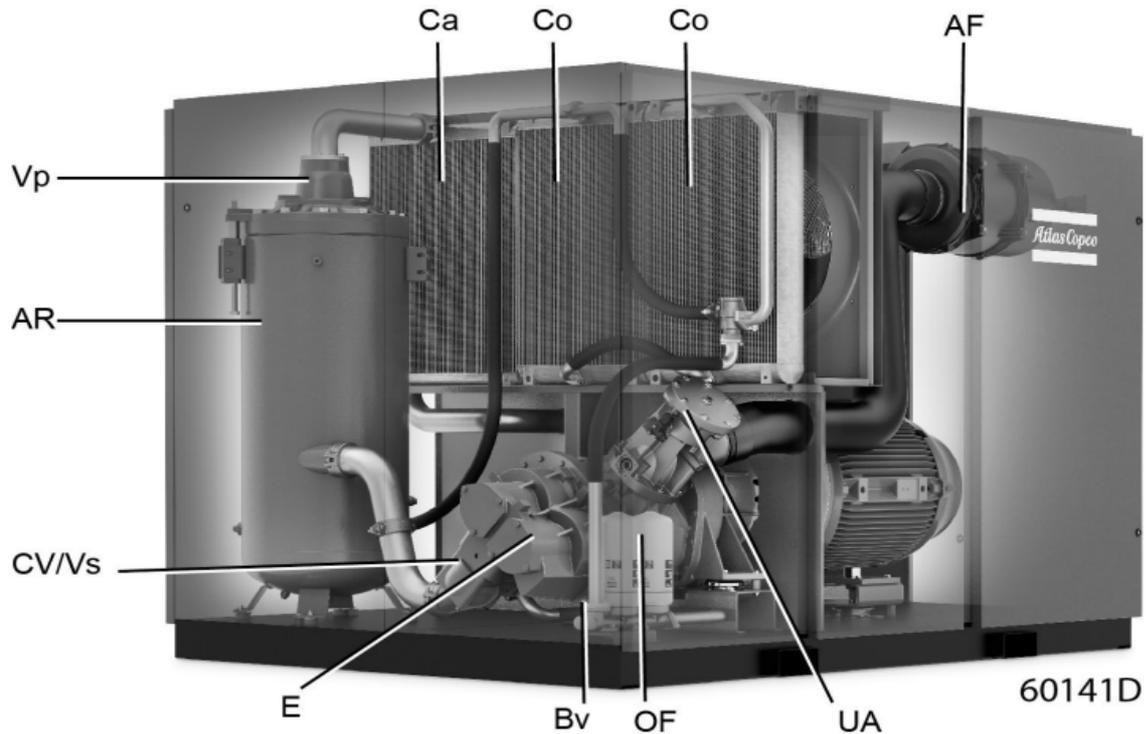


Figure 2.10: Emplacement des composants [11]

Le composant	Signification
<b>AF</b>	filtre à air
<b>Co</b>	Refroidisseur de l'huile
<b>Ca</b>	Refroidisseur d'air
<b>Vp</b>	Soupape
<b>AR</b>	Réservoir d'air/séparateur d'huile
<b>CV</b>	Clapet anti-retour d'air
<b>Vs</b>	Clapet d'arrêt d'huile
<b>E</b>	Elément de sortie
<b>Bv</b>	Vanne
<b>OF</b>	Filtre d'huile
<b>UA</b>	Déchargeur

Tableau 2.1: Signification des composants de compresseur [11]

**Circuit d'air :**

L'air aspiré via le filtre (AF) et le déchargeur (UA) est comprimé dans l'élément compresseur (E). L'air comprimé et l'huile sont refoulés, via le clapet anti-retour (CV), dans le réservoir d'air/séparateur d'huile (AR) dans lequel l'air comprimé est séparé de l'huile. L'air est

ensuite refoulé dans le refroidisseur d'air (Ca) via la soupape à minimum de pression (Vp). Sur les compresseurs GA Pack, l'air refroidi est refoulé via le réservoir des condensats et la sortie vers le réseau d'air. Le clapet anti-retour (CV) empêche le retour de l'air comprimé. La soupape à minimum de pression (Vp) évite que la pression du réservoir descende au-dessous de la pression minimum. La soupape est équipée d'un clapet anti-retour intégré.

### **Circuit d'huile :**

A partir du réservoir (AR), l'air sous pression véhicule l'huile à travers le refroidisseur d'huile (Co), les filtres (OF) et le clapet d'arrêt d'huile (Vs) pour atteindre l'élément compresseur (E) et ses points de lubrification. Le clapet d'arrêt d'huile (Vs) empêche la submersion par l'huile des éléments compresseurs lors de l'arrêt du compresseur. La vanne (BV) contourne le refroidisseur d'huile (Co) lorsque le compresseur démarre à froid, garantissant ainsi un réchauffement rapide de l'huile à la température de service normale. Dans le réservoir d'air (AR), la plus grande partie de l'huile est éliminée de l'air par centrifugation. La quasi-totalité de l'huile restante est retirée par l'élément séparateur[11].

## **7. Description générale du l'élément de sortie**

L'élément de sortie est un dispositif situé juste en amont des vis de compression. Il assure la fermeture des vis lors de la compression et son ouverture se fait lors du déchargement. Il est composé d'une soupape anti retour un clapet et électrovanne. Son disfonctionnement provoque l'arrêt total du compresseur



**Figure 2.11: photo réel du l'élément de sortie**

## **8. Réaliser plus d'économies grâce à la récupération d'énergie**

Les directives de Kyoto et l'abandon progressif des sources d'énergie traditionnelles montrent que les entreprises à travers le monde s'engagent à réduire de manière significative leur consommation énergétique globale. Grâce à des produits et solutions innovants, Atlas Copco vous aide à atteindre vos objectifs dans ce domaine. En ce qui concerne la production

d'air comprime, pour laquelle les couts énergétiques peuvent atteindre jusqu'à 70 % des couts du cycle de vie totaux, faire des économies d'énergie peut revenir à réduire considérablement vos couts globaux.

### 9. Échangeur de chaleur intégré

La compression de l'air génère une chaleur qui se perd généralement dans les refroidisseurs. Les systèmes de récupération d'énergie conçus par Atlas Copco permettent de collecter l'essentiel de cette énergie. Jusqu'à 94 % de la puissance à l'arbre du compresseur peuvent ainsi être récupérés. Sous forme d'eau chaude (85-90 °C / 185-194 °F), la chaleur constitue une source d'énergie directement utilisable. Le module principal du système de récupération reliant le circuit d'huile chaude du compresseur au circuit d'eau existant est intégré au compresseur. L'investissement est relativement minime au regard du retour sur investissement qui est généralement très rapide [11].



Figure2.12 : Utilité de l'échangeur de chaleur [11]

Vitesse fixe : GA<sup>+</sup> et GA

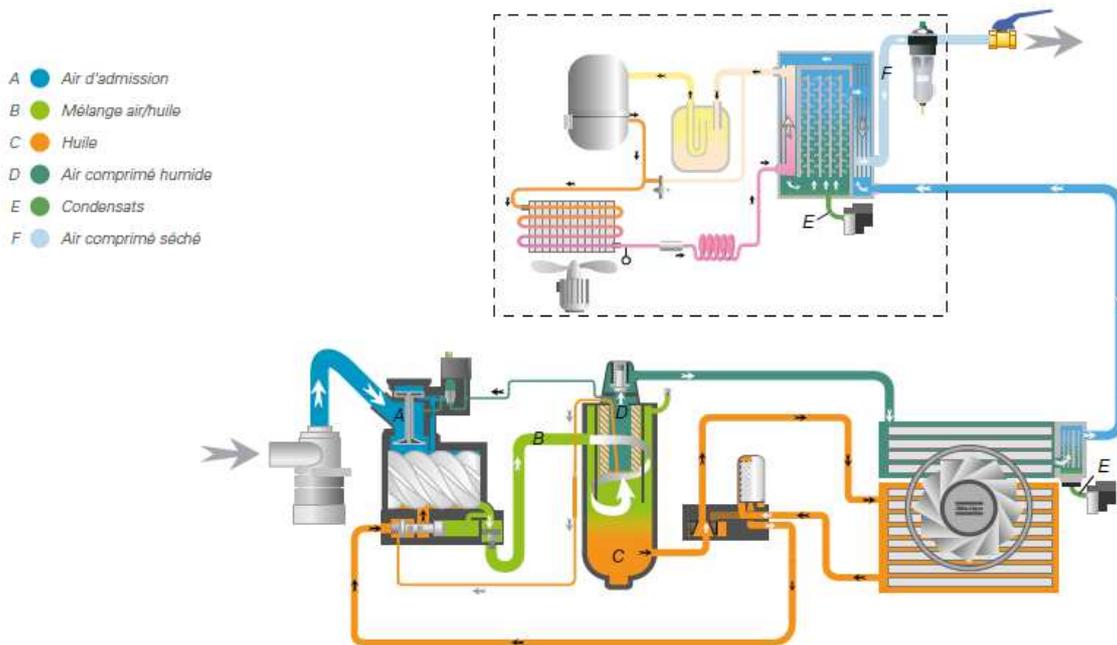


Figure 2.13 : Fonctionnement de compresseur à vitesse fixe [11]

## 10. Conclusion

Dans ce chapitre on a introduit une présentation du groupe ce vital et l'unité de conditionnement sucre dans laquelle se trouve notre cas d'étude (compresseur), ainsi les fonctions et les lois utilisées dans la fiabilité.

***Chapitre 3:***  
***Comparaison entre la***  
***politique de maintenance***  
***selon l'âge et la politique de***  
***maintenance périodique***  
***(Application)***

### *Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique*

## 1. Introduction

Dans notre étude nous avons exploité l'historique des pannes du compresseur GA 160, pour la disponibilité des données nous avons choisi les pannes du module dit : « élément de sortie ».

## 2. Prélèvement des TBF (Time Between Failures = Temps entre défaillance)

n	Description de l'intervention	Date de début	Date de fin	Date de révision	TBF <sub>n</sub> (jours)
1	Mise en marche	17/01/2013 à 09:37	17/01/2013 à 10:32	17/01/2013	/
2	Surchauffe d'élément de sortie (sonde de température)	30/07/2013 à 14 :01	30/07/2013 à 19 :02	/	194
3	Surchauffe d'élément de sortie : sonde de température	01/08/2014 à 15 :35	01/08/2014 à 19 :35	/	561
4	Surchauffe d'élément de sortie qualité de l'huile	11/10/2015 à 11 :26	11/10/2015 à 18 :28	24/03/2015	201
5	Surchauffe d'élément de sortie : problème de refroidissement circuit	19/02/2016 à 11 :40	19/02/2016 à 16 :37	/	332
6	Surchauffe d'élément de sortie : soupape de séparation	13/06/2017 à 15 :43	13/06/2017 à 20 :43	02/04/2017	72
7	Surchauffe d'élément de sortie : température de refoulement	17/06/2019 à 04 :21	17/06/2019 à 05 :00	/	806
8	Surchauffe d'élément de sortie : qualité de l'huile	27/11/2019 à 14 :00	27/11/2019 à 18 :30	/	938
9	Surchauffe d'élément de sortie : soupape de séparation	15/04/2021 à 10 :00	15/04/2021 à 16 :00	/	1474

**Tableau 3.1 : Prélèvement des TBF**

## 3. Détermination des paramètres de Weibull

Pour la détermination des paramètres de la loi de weibull, nous avons utilisé le logiciel **R** ; c'est un langage de programmation destiné aux statistiques et à la science des données.

### Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique

Les résultats de ce programme sont :

- Paramètre de forme  $\beta = 1.35$
- Paramètre d'échelle  $\eta = 731$
- Paramètre de localisation  $\gamma = 0$

Dans notre cas, le paramètre de localisation est considéré nul (i.e.  $\gamma = 0$ ) et la loi de Weibull est ramenée à deux paramètres.

```
> X=c(194,561,201,332,72,806,938,1474)
> x=seq(0,1500,by=0.01)
> y=dweibull(x,1.35,731)
>hist(X,prob=TRUE)
>lines(x,y,xlim=c(0,12),ylim=c(0,0.0001))
>ks.test(X, "pweibull",1.35,731)

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: X

D = 0.21446, p-value = 0.7853

Alternative hypothesis is: two-sided
```

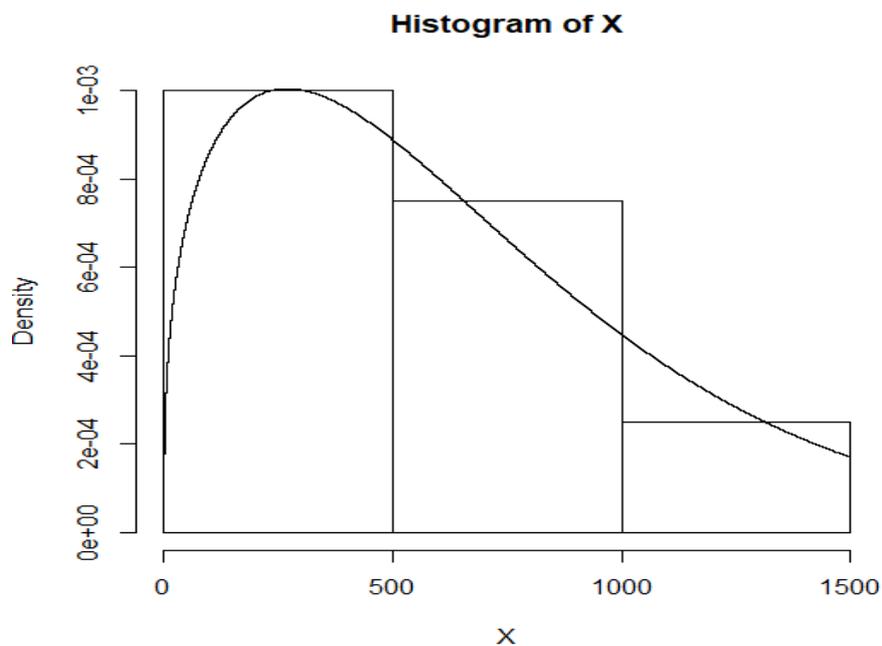


Figure 3.1 : Fonction de densité de probabilité

## 4. Estimation des coûts

### 4.1 Estimation des coûts de main d'œuvre par heure

- Ingénieur :  350,00 DA/h
- Technicien en maintenance (TS) :  250,00 DA/h

### 4.2 Coût d'une intervention par heure

#### 4.2.1 Préventive

- Ingénieur (électrique ou mécanique) :  350,00 DA/h
- Technicien en maintenance:  250,00 DA/h

Le coût d'une intervention préventive de maintenance est la somme des coûts de main d'œuvre (Ingénieur + Technicien)  600,00 DA/h

#### 4.2.2 Corrective

- Ingénieur électricien :  350,00 DA/h
- Ingénieur mécanicien :  350,00 DA/h
- Technicien en maintenance:  250,00 DA/h

Le coût d'une intervention corrective de maintenance est la somme des coûts de main d'œuvre (Ingénieur mécanique + Ingénieur électrique + Technicien)  950,00 DA/h

### Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique

#### 4.3 L'estimation de perte de production

Pour l'unité de conditionnement (1 kg de sucre) la production change d'après la demande du marché, mais d'une valeur moyenne elle est de 1200 Tonnes en 24 h soit : 50 T/heure

**72,00 DA** : Prix de produit sortie d'usine (1 kg de sucre)

**50,00 DA** : Prix de produit net (importé)

**2,00 DA** : Prix d'emballage pour une unité (1 Kg)

**10,00 DA** : Prix des charges : ouvrier + électricité (pour 1 kg de sucre).

$$72,00 - (50,00 + 10,00 + 2,00) = 10,00$$

Le bénéfice net dans 1 Kg de sucre est de 10 DA.

**1 kg** → **10 DA**

**50T=50 000 KG** → **500 000 DA**

➤ Le coût de perte de production de : → **500 000,00 DA/h**

#### 5. Elément de sortie

➤ Elément de sortie (coût de pièce de rechange) : → **75000,00 DA**

➤ Durée de remplacement du module : → **19 h**

➤ Coût de main d'œuvre : → **18050 DA**

$C_p$  : coût de remplacement préventif.

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

$$C_p = 18\,050,00 + 75\,000,00$$

$$C_p = 93\,050,00 \text{ DA}$$

$C_c$  : coût de remplacement correctif.

**Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique**

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

$$C_c = 18\,050.00 + 75\,000.00 + (500\,000.00 \times 19)$$

$$C_c = 9\,593\,050,00 \text{ DA}$$

**6. Les fonctions de fiabilité**

On remplace  $\beta, \eta$  et  $\gamma$  par leurs valeur ( $\beta = 1.35, \eta = 731, \gamma = 0$ ) on obtient :

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{731}\right)^{1.35}\right) = \exp\left(-\left(0.00136 \times t\right)^{1.35}\right) \tag{3.1}$$

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(0.00136 \times t\right)^{1.35}\right) \tag{3.2}$$

$$\lambda(t) = 1.85 \times 10^{-3} \times \left(\frac{t}{731}\right)^{0.35} \tag{3.3}$$

Pour le coût d'une réparation minimale , nous avons estimé qu'elle couvrirait 1/10 du coût du remplacement correctif :

$$C_{min} = \frac{1}{10} C_c$$

$C_{min}$  : Coût minimale (dépannage : →  $C_{min} = 959\,305 \text{ DA}$ )

**7. Application sur la politique de maintenance préventive périodique**

$$C(t) = \frac{C_{min} \int_0^T \lambda(t) dt + C_p}{T} \tag{3.4}$$

$$C_p = 93\,050 \text{ DA}$$

$$C_c = 9\,593\,050 \text{ DA}$$

$$C_{min} = 959\,305 \text{ DA}$$

$$C(t) = \frac{959\,305 \int_0^T \left(1.85 \times 10^{-3} \left(\frac{t}{731}\right)^{0.35}\right) dt + 93\,050}{T}$$

**Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique**

$$\begin{aligned}
 &= \frac{959\,305 \times 1.85 \times 10^{-3} \int_0^T \left(\frac{t}{731}\right)^{0.35} dt + 93\,050}{T} \\
 &= \frac{1\,774.71 \int_0^T \left(\frac{t^{0.35}}{731^{0.35}}\right) dt + 93\,050}{T} \\
 &= \frac{\frac{1\,774.71}{10.05} \int_0^T (t^{0.35}) dt + 93\,050}{T} \\
 &= \frac{176.58 \int_0^T (t^{0.35}) dt + 93\,050}{T} \\
 &= \frac{176.58 \left[ \frac{1}{1.35} t^{1.35} \right]_0^T + 93\,050}{T} \\
 C(t) &= \frac{130.80 T^{1.35} + 93\,050}{T} \tag{3.5}
 \end{aligned}$$

Estimation de  $T^*$  pour la quel  $C(t)$  est minimal :

$$\begin{aligned}
 C(t) &= \frac{130.80 T^{1.35} + 93\,050}{T} \\
 C(t) &= \frac{130.80 T^{1.35}}{T} + \frac{93\,050}{T} \\
 \frac{dC(t)}{dt} &= \frac{(130.80 \times 1.35 \times T^{0.35} \times T) - (130.80 \times T^{1.35})}{T^2} + \frac{(0 \times T - (1 \times 93\,050))}{T^2} \\
 &= \frac{130.80 \times T^{1.35} (1.35 - 1) - 93\,050}{T^2} \\
 \frac{dC(t)}{dt} &= \frac{0.35 \times 130.80 \times T^{1.35} - 93\,050}{T^2} \\
 \frac{dC(t)}{dt} &= \frac{45.78 \times T^{1.35} - 93\,050}{T^2} \tag{3.6}
 \end{aligned}$$

Pour avoir  $T^*$  il faut que  $\frac{dC(t)}{dt} = 0 \Rightarrow$

$$45.78 \times T^{1.35} - 93\,050 = 0$$

$$45.78 \times T^{1.35} = 93\,050$$

### Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique

$$T^{1.35} = \frac{93\,050}{45.78} \Rightarrow T^{1.35} = 2032.54h$$

$$T = 282.09 h \Rightarrow T = 11.75 \text{ jours}$$

$$T^* = 11.75 \text{ jours}$$

On remplace  $T^*$  dans l'expression de  $C(T)$  on aura :

$$C^* = C(T^*) = \frac{130.80 \times (11.75)^{1.35} + 93\,050}{11.75}$$

Donc d'après les calculs :

$$C^* = 8\,228.97 \text{ DA/jour}$$

## 8. Application sur la politique de maintenance préventive selon l'âge

$$C(T) = \frac{C_p R(T) + [1 - R(T)]C_c}{\int_0^T R(t)dt} \quad (3.7)$$

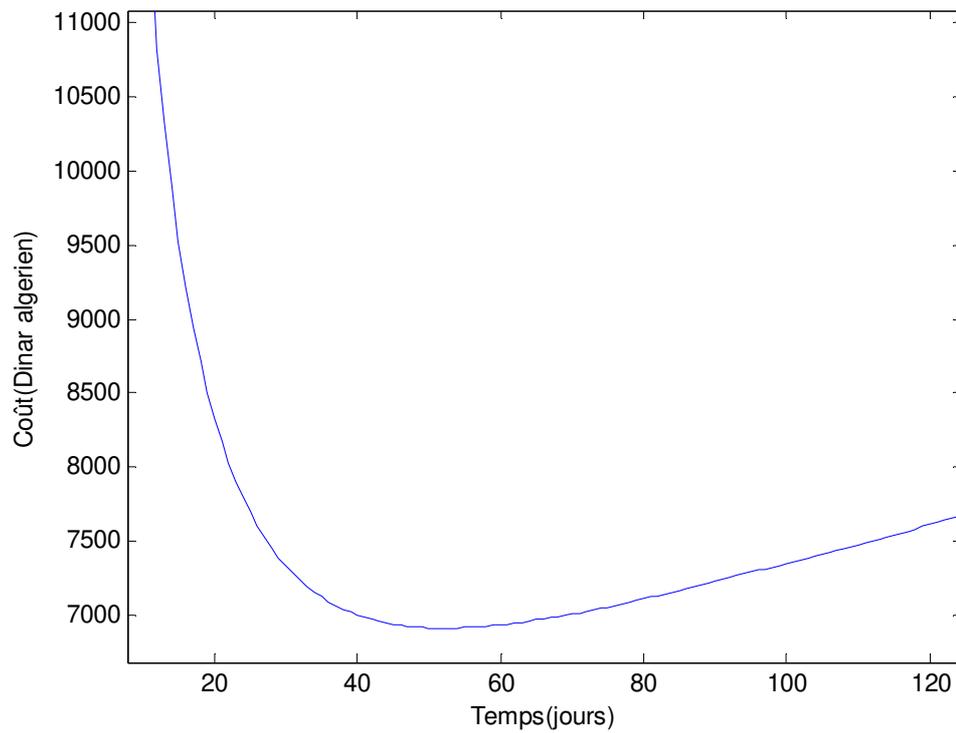
On remarque que la résolution de l'expression de  $c(t)$  analytiquement est impossible, nous avons fait appel aux méthodes numériques par l'utilisation du programme MATLAB suivant :

```
A=[];
H=[];
for t=[1:1500]
A=[A, [t]]
R(t)=exp(-(0.00136*t).^1.35);
F(t)=quad(@ (t) exp(-(0.00136*t).^1.35), 0, t)
c=(93050*R(t)+(1-R(t))*9593050)./F(t)
H=[H, [c]]
end
length(t)
length(R)
```

### *Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique*

---

```
length(A)
length(H)
plot(A,H)
title('Allure de Coût en fonction de Temps')
xlabel('Temps(jours)')
ylabel('Coût(Dinar algerien)')
[A,H]=ginput(1)
```



**Figure 3.2 : Allure du coût en fonction du temps**

### Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique

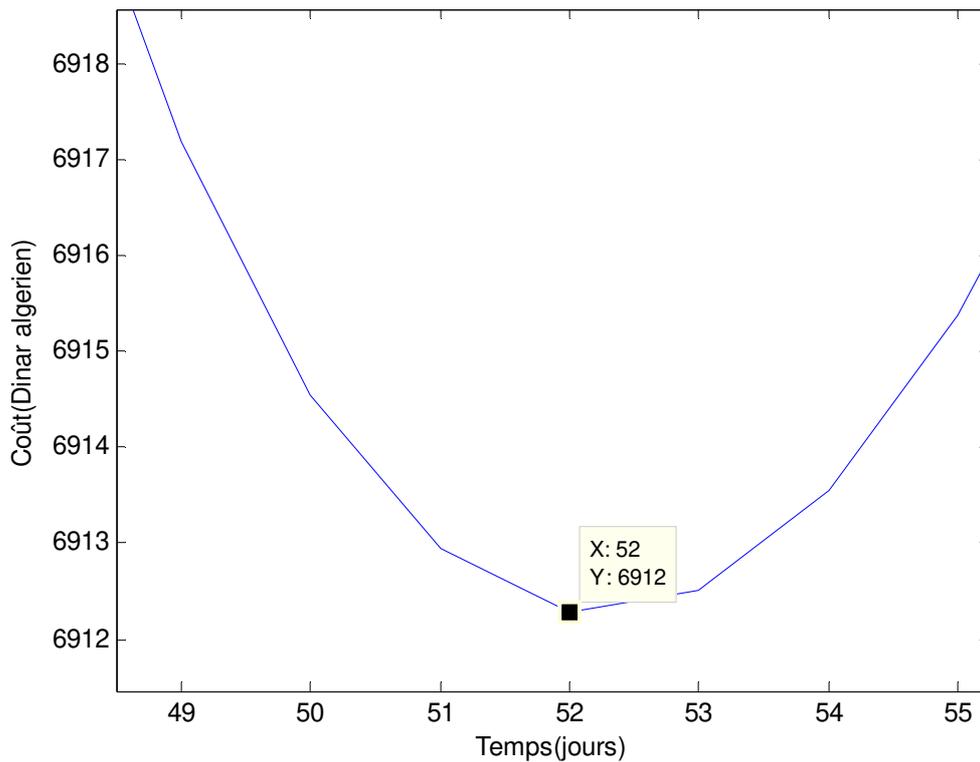


Figure 3.3: zoom sur l'allure du coût en fonction du temps

D'après le graphe, nous avons le temps optimum  $T^*$  qui est :

Et le coût optimum  $C^*$  qui est :

$$T^* = 52 \text{ jours}$$

$$C^* = 6912 \text{ DA/jour}$$

Commentaire :

La figure 4.3 représente l'allure du coût en fonction du temps pour la politique de maintenance selon l'âge, la remarque que nous avons constaté est que la première partie de la courbe est décroissante  $[0, T^*]$ . à partir de  $T^*$  la courbe est croissante.

La courbe présente une valeur optimale, pour laquelle le coût est minimum (point d'inflexion) :  $T^* = 52$  jours,  $C^* = 6912$  Da / jours.

### *Chapitre 3. Application et comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et la politique de maintenance périodique*

---

#### **9. Comparaison entre les résultats des deux politiques**

Pour les coûts optimaux nous avons trouvé que la politique basée sur l'âge est moins couteuse que la politique périodique.

- Coût optimum de la politique selon l'âge :  $C^* = 6912$  DA / jours
- Coût optimum de la politique périodique :  $C^* = 8\,228.97$  DA/jour

#### **10. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons introduit une application numérique pour la détermination et la comparaison entre les coûts de chaque politique, après notre étude nous avons trouvés que la politique de maintenance préventive selon l'âge est moins couteuse que la politique périodique.

# *Conclusion générale*

### Conclusion générale

Nous sommes intéressés dans ce mémoire à comparer entre la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance préventive périodique, pour déterminer la meilleure politique de maintenance.

Après avoir introduit la définition de la maintenance et l'apparition de la maintenance dans le monde industriel, nous avons abordé, les différents types de maintenance (corrective et préventive) ensuite les différentes politiques de maintenance, nous avons étudié les deux politiques de maintenance préventive (selon l'âge et périodique) et le coût de réparation des défaillances dans les deux politiques.

Nous avons présenté le groupe Cevital, et l'unité de conditionnement sucre, les fonctions statistiques utilisées en fiabilité, ensuite nous avons introduit les lois de fiabilité (loi de Weibull et loi exponentielle), ainsi une description du composant étudié « compresseur atlas copco ».

Dans ce travail nous avons étudié deux politiques de maintenance préventive (selon l'âge et périodique) sur le critère du coût total de maintenance à savoir : le coût de remplacement périodique, c'est à-dire que nous avons supposé que les remplacements qui ont eu lieu sont planifiés, et les pannes qui arrivent entre deux remplacement planifiés ont soumises à une réparation minimale (dépannage), le coût de remplacement basé sur l'âge, c'est-à-dire que l'âge de chaque pièce est connu et on change la pièce dès que son âge atteint cette valeur  $T$  ou à la défaillance, c'est le cas le plus courant en pratique. Le principe consiste à calculer le coût total de remplacement de l'élément de sortie par unité de temps dans les deux politique de maintenance et faire une comparaison pour choisir la meilleure politique de maintenance qui correspond au coût le moins cher d'entre eux. Ce coût est composé du coût correctif et du coût préventif et le coût minimal de réparation en fonction du taux de défaillance et la fonction de fiabilité et la période optimale de réparation. Après nous avons fait une application numérique pour les deux politiques dans la quelle nous avons calculé le taux défaillance et le coût corrective, coût préventive et coût minimale, puis nous avons déterminé la période optimale ainsi le coût de remplacement de l'élément de sortie pour chaque politique, à la fin nous avons fait une comparaison entre ces deux coûts.

Nous avons introduit une application numérique pour la détermination et la comparaison entre les coûts de chaque politique, après notre étude nous avons trouvés que la politique de maintenance préventive selon l'âge est moins couteuse que la politique périodique.

Les résultats obtenus ; leurs applications à des cas réels peuvent fournir au service de maintenance un élément-clef pour choisir la période la plus appropriée pour effectuer la maintenance préventive au coût minimum.

*Références bibliographiques*

- [1] : Jean, Héng. « pratiques de la maintenance préventive : mécanique, pneumatique, hydraulique, électricité, froid ».Dunod 4<sup>ème</sup> édition, 2017.
- [2] : AYADI, Ines. « optimisation des politiques de maintenance préventives dans un cadre de modélisation par modèles graphiques probabilistes ». Thèse doctorat. PARIS-EST : Institut Français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, 2013.175 P.
- [3] : Driss,Bouami. « Le grand livre de la maintenance : concepts, démarches, méthodes, outils et techniques ». afnor éditions. Dominique Cohen, 2019. 585 P.
- [4] : AIT MOKHTAR, Elhassene. Cour Master 1 Maintenance Industrielle : « Introduction à la GMAO » Université de Béjaïa, 2020.
- [5] : AIT MOKHTAR, Elhassene. Cour Master 2 Maintenance Industrielle : « Techniques de détection de défaillances » Université de Béjaïa, 2021.
- [6] : LAGGOUNE Radouane . « Optimisation de la maintenance par la fiabilité opérationnelle des systèmes multi-composants. Applications industrielles ». Thèse doctorat. Université de Béjaïa, 2009.
- [7] : Toshio Nakagawa : « Maintenance Theory of Reliability ». Springer ,2006. 264P.
- [8] : « Cevital ». Disponible sur : <https://www.cevital.com/lhistoire-du-groupe/> consulté le 20 juin 2021.
- [9] : Manuel operateur du conditionnement de sucre.
- [10] : AIT MOKHTAR, Elhassene. Cour Master 2 Maintenance Industrielle : « Modèles de maintenance » Université de Béjaïa,2021.
- [11] : « COMPRESSEURS ROTATIFS À VIS À INJECTION D'HUILE ».  
Disponible au format PDF sur Internet :  
<[https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/ga-160--135-\(vsd\)/2935262612%20GA160+-315%20VSD%20FR\\_LR.pdf](https://www.atlascopco.com/content/dam/atlas-copco/compressor-technique/oil-free-air/documents/ga-160--135-(vsd)/2935262612%20GA160+-315%20VSD%20FR_LR.pdf)> consulté le 21juin 2021.

## Résumé :

Dans les unités à fonctionnement continu, la perte de production est élevée en cas d'arrêt. La maintenance préventive est souvent mise en œuvre pour réduire les défaillances et augmenter la disponibilité et la durée de vie des équipements. Les distributions de durées de vie obtenues par l'analyse du retour d'expérience sont utilisées pour l'optimisation du plan de maintenance d'un système multi-composants dans un contexte de dépendance économique, cette dépendance est prise en compte en introduisant une politique de maintenance préventive basée sur les paramètres et lois de fiabilité, le choix de cette politique n'est pas toujours évident cela impose une étude approfondie des différents facteurs qui influent sur le système étudié. Dans notre cas la politique de maintenance selon l'âge est la mieux adaptée pour le système qu'on a étudié.

## Abstract:

In units with continuous operation, the loss of production is high in the event of a shutdown. Preventive maintenance is often implemented to reduce failures and increase the availability and life of equipment. The lifespan distributions obtained by the analysis of experience feedback are used to optimize the maintenance plan of a multi-component system in a context of economic dependence, this dependence is taken into account by introducing a policy of preventive maintenance based on the parameters and reliability laws, the choice of this policy is not always obvious, it requires an in-depth study of the various factors which influence the system being studied. In our case, the maintenance policy according to age is best suited to the system we are studying.

## ملخص :

في الوحدات ذات التشغيل المستمر ، تكون خسارة الإنتاج عالية في حالة العطب . غالبًا ما يتم تنفيذ الصيانة الوقائية لتقليل الأعطال وزيادة توافر المعدات وعمرها . تُستخدم توزيعات العمر التي تم الحصول عليها من خلال تحليل التجارب السابقة لتحسين خطة الصيانة لنظام متعدد المكونات في سياق الاعتماد الاقتصادي . ويؤخذ هذا الاعتماد في الاعتبار من خلال تقديم سياسة الصيانة الوقائية بناءً على المعلومات وقوانين الموثوقية . فإن اختيار هذه السياسة ليس واضحًا دائمًا ، فهو يتطلب دراسة معمقة للعوامل المختلفة التي تؤثر على النظام قيد الدراسة . في حالتنا ، فإن سياسة الصيانة وفقًا للعمر هي الأنسب للنظام الذي ندرسه .