

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

Université ABDERRAHMANE MIRA de Béjaïa



Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique



Mémoire de Fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en électromécanique
Spécialité : Maintenance industrielle

Thème

Analyse des différents modèles de maintenance des équipements industriels au sein de l'unité opérationnelle maintenance UMO-Cevital

Présenté par :

Mr. BOUSLIMANE IDIR

Mr. ARFI MISSIPSA

Devant le jury composé de :

Mr. B. Yahiaoui

Univ-Béjaïa

Président

M. T. Belhoul

Univ-Béjaïa

Encadreur

Mr. A. Arkouk

Cevital-Béjaïa

Rapporteur

Mr. R. LAAGOUNE

Univ-Béjaïa

Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

On tient tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Nos sincère remerciements pour notre encadreur Mme T. BELHOUL, pour nous avoir suivi avec une extrême bienveillance, ses remarques, ses conseils judicieux ont amélioré notre travail et permis sa mise au point définitive.

Nous exprimons nos gratitude à Mr M. Arkouk le chef de l'unité de maintenance opérationnelle à CEVITAL, d'avoir accepté nous encadrer durant notre stage et nous le remercions vivement pour sa patience et ses conseils.

Nous tenons également à remercier très chaleureusement Mr F. OUALI pour sa disponibilité, ces conseils lucides et pertinents, sa patience et son précieux suivis durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre mémoire et de l'enrichir par leurs recommandations.

Nous remercions également tous les enseignants de département Génie Electrique et génie mécanique de l'université de Bejaïa qui ont participé à notre formation pendant tout le cycle universitaire.

Nous exprimons nos profonds remerciements et tous nos respects pour nos très chers parents, qui nous ont éduqué, encadré et soutenu par tous les moyens, jours après jours, depuis notre naissance jusqu'à ce jour-là.

Dédicace

*Je dédie ce travail :
À mes très chers parents
À mes Sœurs et À mon frère
À toute ma famille
À tous mes amis
À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.*

Idir Bouslimane

Dédicace

À mes chers parents, ma mère et mon père, pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements.

Que ce travail leur apporte joie et fierté ;

À mes chers frères FAOUIZI, RIAD, ADEL et ma copine Cylia et A toute ma famille ;

À tous mes enseignants, particulièrement mon encadreur Mme BELHOUL que je ne remercierai jamais assez, vous serez toujours en ma mémoire, un symbole de sagesse et de bravoure ;

À mon collègue de travail ;

À mes très chers amis pour leurs aides et soutiens.

Arfi Missipsa

Table des Matières

Liste des figures.....	I
Liste de tableaux.....	II
Liste des abréviations.....	III
Liste des nomenclatures.....	IV

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Présentation de l'organisme d'accueil CEVITAL

1. Introduction	3
2. Description de la direction technique.....	3
3. Description de service du conditionnement de sucre.....	3
4. Organigramme de l'entreprise Cevital Agro-industrie.....	4

Chapitre.I Généralités sur la maintenance et la sûreté de fonctionnement

I.1 Introduction.....	6
I.2 Historique et évolution de la maintenance	6
I.2.1 Première génération	7
I.2.2 Deuxième génération	7
I.2.3 Troisième génération.....	7
I.2.4 Génération récente	7
I.3 Organisation de la fonction maintenance	7
I.3.1 Définition de la maintenance	8
I.3.2 Différents types de maintenance industrielle	8
I.3.3 Principales opérations de la maintenance	11
I.3.4 Niveaux de la maintenance	13
I.3.5 Fonctions de la maintenance	14

I.3.6 Objectifs de la maintenance	15
I.4 . Rappels sur la sûreté de fonctionnement et le cadre d'étude	15
I.4.1 Concepts de la fiabilité.....	16
I.4.2 Principales fonctions statistiques utilisées en fiabilité.....	16
I.4.3 Impact de la maintenance sur la fiabilité d'un matériel	17
I.4.4 Lois de probabilité usuelles utilisées en fiabilité :	18
I.4.5 Fiabilité des systèmes.....	21
I.4.6 Maintenabilité	22
I.4.7 Disponibilité.....	22
I.4.8 Sécurité.....	22
I.4.9 Temps de Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité.....	23
I.5 Conclusion	23

Chapitre.II Modélisation et évaluation des effets de la maintenance

II.1 Introduction	24
II.2 Définition de la politique de maintenance.....	24
II.3 Gestion des activités de maintenance	24
II.4 Effet de la maintenance sur les systèmes.....	25
II.4.1 Maintenance parfaite	25
II.4.2 Maintenance minimale.....	26
II.4.3 Maintenance imparfaite	27
II.5 Généralisation du processus de renouvellement d'une maintenance imparfaite ..	28
II.5.1 Evaluation les modèles de réduction d'intensité de défaillance	29
II.5.2 Modèle de réduction d'âge virtuel	29
II.5.3 Modèles hybrides.....	30
II.6 Optimisation des politiques de maintenance	31

II.7 Coûts relatifs aux diverses actions de maintenance	32
II.7.1 Coûts directs liés directement au service	33
II.7.2 Coûts indirect liés à l'indisponibilité	33
II.8 Différentes politiques de maintenance existantes	33
II.8.1 Politiques de maintenance pour les système mono-composants	34
II.8.2 Politiques de maintenance pour les systèmes multi-composants	38
II.9 Conclusion.....	38

Chapitre.III Description du fonctionnement des systèmes existants

III.1 Introduction.....	39
III.2 Equipements à étudier.....	39
III.2.1 Compresseurs	39
III.2.2 Convoyeurs.....	48
III.3 Conclusion	54

Chapitre.IV Applications et comparaison entre les politiques de maintenance

IV.1 Introduction.....	55
IV.2 Estimation des coûts	55
IV.2.1 Estimation des coûts de main d'œuvre par heure.....	55
IV.2.2 Coût d'une intervention par heure.....	55
IV.2.3 Estimation des coûts de pertes de production	56
IV.2.4 Elément de sortie.....	56
IV.2.5 Coût d'une réparation minimale.....	57
IV.3 Cas d'étude d'un compresseur GA	57
IV.3.1 Historique des pannes et prélèvement des TBF	58
IV.3.2 Détermination des paramètres de Weibull	59

IV.3.3 Fonctions de fiabilité.....	60
IV.3.4 Comparaison des coûts des deux politiques.....	61
IV.4 Cas d'étude d'un convoyeur à bande TB 13.....	64
IV.4.1 Analyse du retour d'expérience	65
IV.4.2 Estimation des paramètres de Weibull.....	66
IV.4.3 Détermination de la fonction $R_2(t)$, $F_2(t)$, $\lambda_2(t)$	66
IV.4.4 Détermination de la période optimale par modèle de remplacement basé sur l'âge et celle en bloc.....	67
IV.5 Conclusion	70
Conclusion Générale	79

Liste des Figures

Fig. I. 1 : Evolution de la maintenance dans le temps.....	6
Fig. I. 2 : Classification des divers types de maintenance (AFNOR).....	8
Fig. I. 3 : Déroulement chronologique des actions de maintenance préventive systématique.	10
Fig. I. 4 : Déroulement chronologique des actions de maintenance préventive conditionnelle.	10
Fig. I. 5 : Trois fonctions opérationnelles de la maintenance.....	14
Fig. I. 6 : Objectifs de la maintenance.....	15
Fig. I. 7 : Relation entre les composantes de sûreté de fonctionnement.	16
Fig. I. 8 : Allure de l'évolution de l'intensité de défaillance λ_t « courbe en baignoire ».....	18
Fig. I. 9 : Variation du taux de défaillance en fonction de β – loi de weibull.....	20
Fig. I. 10 : Diagramme de fiabilité d'un système en série.....	21
Fig. I. 11 : Diagramme de fiabilité d'un système en parallèle.	21
Fig. I. 12 : Les durées caractéristiques de FDM.....	23
Fig. II. 1 : Gestion des activités de maintenance avec support d'une GMAO.....	24
Fig. II. 2 : Déroulement des interventions de service maintenance.	25
Fig. II. 3 : Intensité de défaillance dans le cas de maintenance parfaite (AGAN).....	26
Fig. II. 4 : Intensité de défaillance dans le cas de maintenance ABAO.	27
Fig. II. 5 : Trajectoires de l'intensité de défaillance dans le modèle Brown-Proschan.....	28
Fig. II. 6 : Différents modèles de réduction d'intensité de défaillance.	29
Fig. II. 7 : Intensité de défaillance dans le modèle hybride.	31
Fig. II. 8 : Aspect des coûts de maintenance en fonction de fréquence des interventions.	32
Fig. II. 9 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge.	34

Fig. II. 10 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance en bloc.	36
Fig. III. 1 : Schéma résume le principe de fonctionnement d'un compresseur.....	40
Fig. III. 2 : Classification des compresseurs.	41
Fig. III. 3 : Photo réelle d'un compresseur à vis.	42
Fig. III. 4 : Engrenement de deux vis d'un compresseur.	42
Fig. III. 5 : Différents composants d'un compresseur à vis de type ATLAS COPCO.	44
Fig. III. 6 : Cycle de production de l'air comprimé.	45
Fig. III. 7 : Changement subit par l'air dans le compresseur.	46
Fig. III. 8 : Photo réelle d'un transporteur à bande	48
Fig. III. 9 : Schéma de principe d'un convoyeur à bande.	49
Fig. III. 10 : Photo réelle d'une bande transporteuse d'un convoyeur.....	49
Fig. III. 11 : Présentation des différents tambours du convoyeur	50
Fig. III. 12 : Rouleaux station inférieure et supérieure	51
Fig. III. 13 : Système de transmission d'énergie.....	52
Fig. IV. 1 : Distribution des paramètres de Weibull déterminée par le logiciel Isograph.....	60
Fig. IV. 2 : Programme de simulation de la stratégie de maintenance de type âge.....	63
Fig. IV. 3 : Comportement du coût en fonction de l'âge de remplacement (résultats de la simulation)	63
Fig. IV. 4 : Détermination des paramètres de Weibull (logiciel Isograph)	66
Fig. IV. 5 : Programme de simulation de la stratégie de maintenance de type âge (Matlab)...	68
Fig. IV. 6 : Allure du coût de politique de maintenance selon l'âge en fonction du temps	69

Liste des Tableaux

Tab. I. 1 : Niveaux de maintenance.	14
Tab. I. 2 : Fonctions statistiques de la loi exponentielle.	19
Tab. I. 3 : Fonctions statistiques de la loi de Weibull.	19
Tab. III. 1 : Caractéristique du compresseur à vis Atlas Copco GA-160.	42
Tab. III. 2 : Principe du fonctionnement de deux vis de compresseur.	43
Tab. III. 3 : Signification des composants de compresseur à vis ATLAS COPCO.	44
Tab. III. 4 : Opération de maintenance sur le compresseur ATLAS COPCO.	47
Tab. III. 5 : Types des tambours.	50
Tab. III. 6 : Signification des éléments d'un convoyeur à bande de transmission d'énergie ..	52
Tab. III. 7 : Plan de maintenance d'un convoyeur à bande TB-13.	53
Tab. IV. 1 : Estimation des coûts de main d'œuvre par heure.	55
Tab. IV. 2 : Coût d'une intervention de maintenance par heure.	56
Tab. IV. 3 : Élément de sortie pour un compresseur et convoyeur à bande.	57
Tab. IV. 4 : Coût minimale d'un compresseur Atlas Copco et convoyeur à bande.	57
Tab. IV. 5 : Historique des pannes et prélèvement des TBF.	58
Tab. IV. 6 : Classement les TBF dans un ordre croissant.	59
Tab. IV. 7 : L'écart en termes de coûts entre la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge	64
Tab. IV. 8 : Historiques des défaillances d'un convoyeur à bande TB-13.	65

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation.

MTBF : Moyenne des temps entre deux défaillances (Mean Time Between Failure).

MUT : Moyenne des temps de fonctionnement (Mean Up Time).

MDT : Moyenne des temps de panne (Mean Down Time).

MTTR : Moyenne des temps techniques de réparation (Mean Time To Repair).

MTTF : Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance (Mean Time To Failure).

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

GMAO : Gestion de maintenance assisté par ordinateur.

DI : Demande d'intervention.

OT : Ordre de travail.

BT : Bon de travail

DA : Demande d'approvisionnement.

BSM : Bon de sortie magasin.

PDR : Pièce de rechange.

AGAN : Aussi bon que neuf (As good as new).

ABAO : Aussi mauvais que vieux (As bad as old).

Liste des nomenclatures

R(t) : Reliability, fonction de fiabilité.

P(t) : Probabilité.

M(t) : Maintenabilité.

D : Disponibilité.

F(t) : Fonction de répartition de la variable aléatoire t.

f(t) : Fonction de densité de la variable aléatoire t.

E(t) : Espérance mathématique de la variable aléatoire t.

$\lambda(t)$: Taux défaillance dépendant du temps.

η (Eta) : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull.

β (Beta) : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

γ (Gamma) : Paramètre de position de la loi de Weibull.

μ : Probabilité pour que le dispositif soit remis en service.

Γ : Fonction gamma d'Euler (fonction tabulée).

λ_t : Intensité de défaillance pour les systèmes réparables.

X_t : collection de variable aléatoires.

B_i : variable aléatoires indépendants.

A_i : Age virtuel d'un système.

t_i : Instants des maintenances préventive.

X_i : Durée inter interventions de maintenance préventive.

p : Probabilité pour que la maintenance soit parfaite.

δ_i : Quantité de réduction d'intensité de défaillance à la $i^{\text{ème}}$ maintenance préventive.

δ : Quantité de réduction de l'intensité de défaillance.

α^{IM} : Facteur d'ajustement, représente l'état d'usure des système dû aux pannes non réparables.

α : détermine les effets de l'action de maintenance effectuée sur le système.

K : Nombre de panne non réparables.

C_p : Coût d'une maintenance préventive.

C_c : Coût de maintenance corrective.

C_{min} : Coût minimale d'une maintenance par unité de temps.

$C(T)$: Fonction de coût.

T^* : Période optimale.

C^* : Coût optimale.

Introduction

Générale

Introduction Générale

La concurrence industrielle incite les entreprises à chercher des stratégies innovantes afin de contribuer à améliorer la performance de leurs outils de production, aussi bien d'assurer leurs pérennités et leurs compétitivités. Pour cela, le développement de toute entreprise quel que soit son objectif dépend essentiellement du degré de l'efficacité de sa maintenance. Cette dernière constitue un enjeu économique décisif. En effet cette fonction est devenue de nos jours très importante dans le contexte industriel, très stratégique pour assurer les capacités de production et le meilleur coût du cycle de vie [1]. D'une façon générale, sa mission a pour but de garantir l'état de bon fonctionnement des équipements de production, en particulier sa sûreté et sa disponibilité. Suite à ce constat, les entreprises doivent choisir avec précaution la politique de maintenance convenable pour le suivi de leurs équipements, ceux-ci se sont efforcés d'optimiser à la fin la rentabilité du matériel sur tous les plans [2].

Par ailleurs, l'arrêt ou le dysfonctionnement de l'un des systèmes de production, engendre des coûts que les entreprises ne sont plus en état de les supporter [3]. Dans cette situation, grâce à des actions de maintenances correctives ou préventives, nous permettrons d'anticiper et d'éviter les défaillances du système, et ainsi de prolonger la durée d'exploitation des matériels. Dans ce contexte, la fiabilité est le meilleur moyen qui permet de connaître et maîtriser le comportement opérationnel des équipements.

Le travail que nous allons présenter dans ce projet est une problématique qui nous a été proposée par le groupe CEVITAL (Unité opérationnelle maintenance). L'entreprise a souvent été soumise à des contraintes pour choisir la meilleure politique de maintenance préventive selon l'âge ou celle en bloc, donc cette problématique nous amène à développer une étude approfondie pour donner une solution à cette dernière.

C'est pour cela d'ailleurs, pour répondre à ce genre de problème, nous sommes passionné au développement de démarches dont l'objectif est d'aboutir à un outil d'aide à la décision pour construire des programmes de maintenance en effectuant une comparaison entre la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance préventive périodique, suite à l'application de la modélisation et les outils mathématiques et statistiques qui permettent d'exploiter les données disponibles.

Les résultats d'une stratégie de maintenance sont clairement tributaires du modèle de fiabilité choisi. Un tel modèle doit être suffisamment précis pour garantir une stratégie de

maintenance appropriée à l'équipement. Ces modèles doivent décrire fidèlement le comportement des équipements pour assurer une cohérence des résultats théoriques avec la réalité. Il reste évident que le choix d'un modèle influence significativement les résultats d'optimisation finaux et leurs interprétations.

Le présent travail est structuré comme suit :

Dans un premier temps, une présentation du complexe CEVITAL d'une manière générale a été effectuée, en citant tous les ateliers de la chaîne de production, et en particulier un bref aperçu sur l'unité opérationnelle de maintenance.

Le premier chapitre, est entièrement consacré à une étude bibliographique contenant des travaux de recherches sur les généralités de la maintenance. Par la suite nous exposerons quelques définitions sur la sûreté de fonctionnement, en citant quelques lois de distributions utilisées en fiabilité. En particulier la loi "exponentielle" et la loi de "Weibull".

Dans le deuxième chapitre, nous allons développer les principaux modèles de maintenance utilisés en pratique. Plus exactement nous allons classer les actions de maintenance préventive ou corrective en fonction de leur effet sur les conditions de fonctionnement des matériels. Aussi bien nous sommes intéressés aux différentes politiques d'inspection existantes dans la littérature, ainsi les différents critères d'optimisation de maintenance à savoir le critère de minimisation coût.

Le troisième chapitre, consiste à étudier le processus de fonctionnement industriel de chaque système (Compresseur Atlas Copco GA, Transporteur à Bande TB-13) proposés par l'équipe technique de l'unité opérationnelle maintenance CEVITAL.

Le quatrième chapitre, sera consacré à des travaux expérimentaux et numériques sur la détermination du moment le plus avantageux pour effectuer cette opération de remplacement préventif. À cet effet, une étude comparative entre la politique de maintenance selon âge et celle en bloc pour trouver la stratégie la plus adéquate à chaque système à étudier. Et c'est justement l'objectif de notre travail.

Nous terminerons notre manuscrit par une conclusion générale, où nous ferons une synthèse détaillée du travail. Suivie d'une liste de références bibliographiques consultées lors de la réalisation de ce mémoire.

Présentation de l'organisme d'accueil



Présentation de l'organisme d'accueil

1. Introduction

Le groupe CEVITAL 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.

Le stage que nous avons effectué auprès de CEVITAL a permis de concrétiser cet accord de collaboration. Nous allons tout au long de ce rapport présenter le groupe Cevital, cerner ses différents problèmes, et présenter l'objectif de notre mémoire.

2. Description de la direction technique

C'est dans cette direction explicitement dynamique que nous nous inscrivons pour l'analyse de la cohérence de la stratégie de diversification de cevital agro-industrie, en essayant de répondre à la problématique proposée par le service maintenance. Alors nous présenterons le cadre méthodologique et l'organisation de cette direction est la suivant :

◆ Service de maintenance mécanique

Elle assure mise en place des moyens collages de bonde et soudage, cette section s'occupe des installations et équipements mécaniques.

◆ Service de maintenance électrique

Elle a pour rôle le suivi et la maintenance des installations électriques et l'interventions sur panne.

◆ Service gestion de la pièce de rechange

Cette section s'occupe de la gestion de la pièce de rechange des équipements. C'est elle qui approvisionne les sections précédentes (maintenance mécanique et électrique) en pièces de rechange et en outils de travail. Elle s'occupe des lancements des commandes et de la sélection des fournisseurs selon des critères définis.

3. Description de service du conditionnement de sucre

Cette structure compte trois unités qui sont :

- Unité raffinage de sucre cristallisé : elle dispose de trois raffineries qui ont une capacité de production de 1600 tonnes / jours, 2000 tonnes / jour, 3000 tonnes / jours respectivement.
- Unité sucre liquide : fabrication sucre liquide destiné à l'entreprise.

- Unité de conditionnement du sucre cristallisé

4. Organigramme de l'entreprise Cevital Agro-industrie

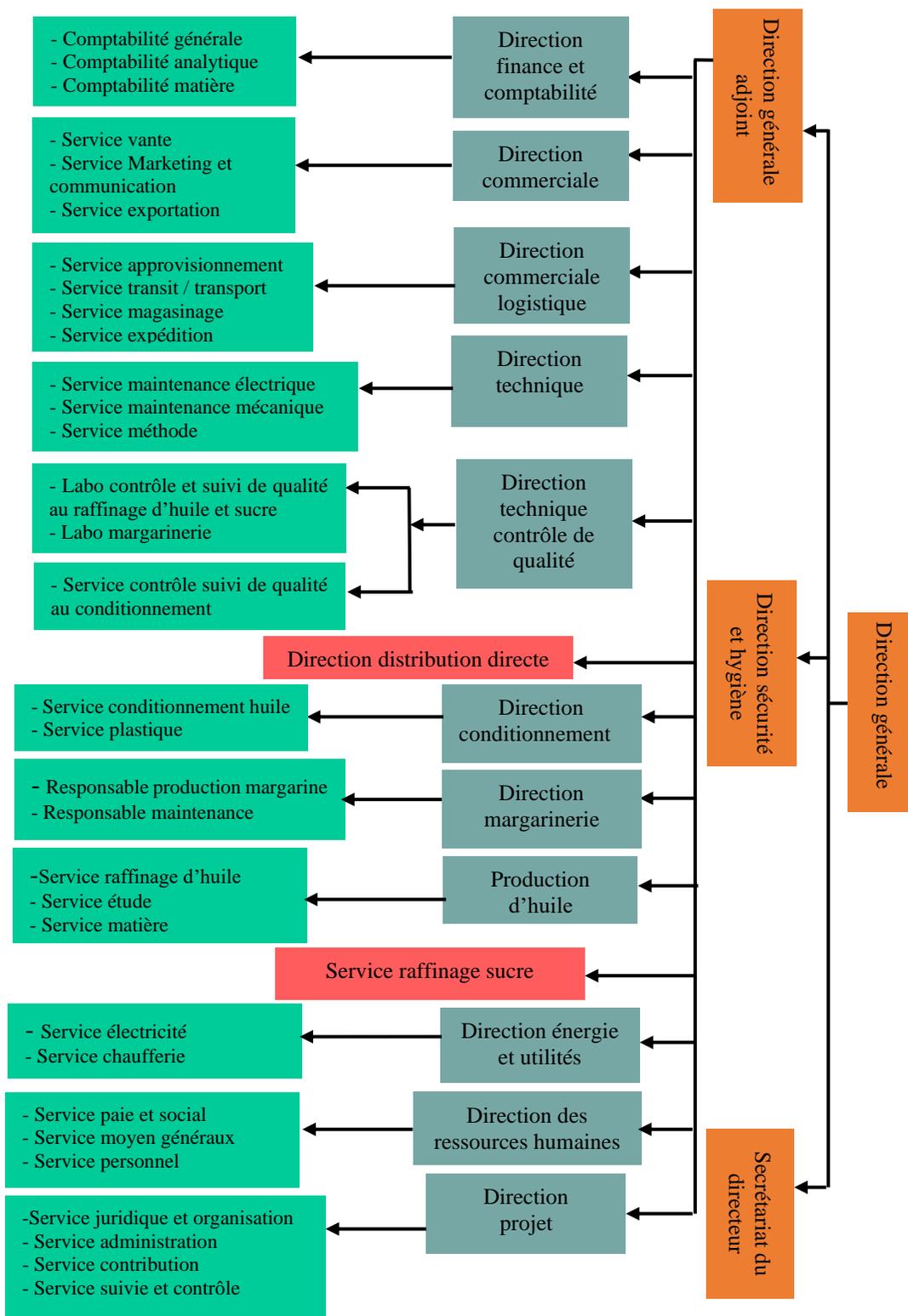


Fig. 3 : Organigramme du complexe Cevital

Chapitre I :

**Généralité sur la
maintenance et la sûreté de
fonctionnement**

Chapitre.I Généralités sur la maintenance et la sûreté de fonctionnement

I.1 Introduction

La maintenance industrielle est une fonction capitale en entreprise, pour lui donner seule vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de productions. Ses objectifs sont bien plus nombreux, ainsi la complexité des phénomènes de défaillances nous amène à rechercher des moyens d'améliorer les stratégies et les politiques de maintenance pour permettre à l'équipement de remplir adéquatement les fonctions pour lesquelles il a été conçu.

Ce chapitre est consacré à présenter des rappels théoriques sur lesquelles nous allons s'appuyer durant notre analyse et nos calculs pratiques. Dans un premier temps, nous représenterons les notions fondamentales de la maintenance permettant de poser les principales définitions fondatrices. Dans un deuxième temps, nous allons exprimer le besoin industriel à l'origine de ces travaux de mémoire qui sont centrés à la fiabilité, puis nous allons décrire l'importance de la maintenabilité et la disponibilité. D'une manière générale, nous présenterons une synthèse bibliographique qui permettra de faire émerger la problématique industrielle.

I.2 Historique et évolution de la maintenance

Au début, la maintenance n'était pas plus qu'une partie inévitable de la production. Les réparations et les remplacements ont été abordés lors de la nécessité et non pas pour l'optimisation [4]. Plus tard, la maintenance devient une fonction entière, au lieu d'une sous-fonction de production, aujourd'hui, la gestion de la maintenance est devenue une fonction complexe englobant des compétences techniques et managériales, qui nécessite une certaine souplesse pour faire face à l'augmentation de la complexité des processus de fabrication et la variété des produits [5]. La maintenance a été donc évoluée dans le temps, celle-ci peut être classée en quatre générations par apport aux concepts de la maintenance avec ses points de transition respectifs [6]. Cette partie représente un aperçu sur l'évolution de la maintenance selon les différentes générations (Fig. I. 1).

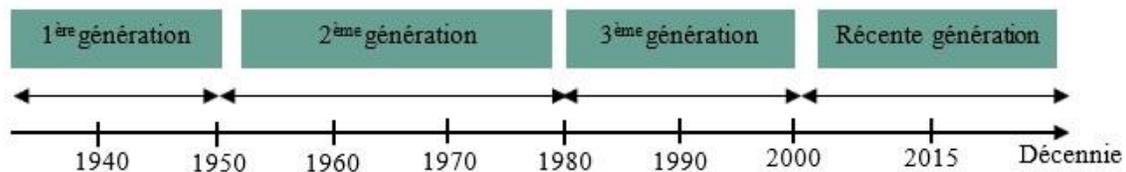


Fig. I. 1 : Evolution de la maintenance dans le temps

I.2.1 Première génération

La première génération appartient généralement au temps avant la seconde guerre mondiale. Dans cette génération, les stratégies de maintenance consistaient essentiellement à fonctionner les systèmes jusqu'à la défaillance pour ensuite les réparer ou les remplacer [7].

I.2.2 Deuxième génération

Cette génération appartient à la période de temps entre la seconde guerre mondiale et la fin des années 1970. Celle-ci met en lumière plusieurs concepts de maintenance telles que [4] :

- Le coût de cycle de vie se compose de détail sur la ventilation des coûts, sur la durée de vie de l'équipement aidant à planifier la logistique de maintenance.
- Une vue globale sur la maintenance et la production. Cette approche s'inscrit dans une stratégie de zéro défaut, zéro délai, zéro stock et zéro panne
- L'établissement d'un programme d'entretien préventif, afin d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité de l'équipement.

I.2.3 Troisième génération

Les concepts de cette génération sont les résultats de la mise au point et la mise à jour de vieux concepts et impliquent des techniques utiles et des idées appliquées dans d'autres concepts de maintenance. La principale force de concepts de maintenance personnalisés exploite les points forts de l'entreprise, et elle tient compte du contexte de l'entreprise spécifique [4].

I.2.4 Génération récente

Cette génération est fortement caractérisée par l'inspection et la planification de la maintenance basée sur l'analyse des risques pour minimiser la probabilité de la défaillance du système et de ses conséquences. Par conséquent l'objectif global du processus de maintenance est d'augmenter la rentabilité de l'opération et optimiser le coût total de cycle de vie de l'équipement [6].

I.3 Organisation de la fonction maintenance en entreprise

Les systèmes industriels peuvent être restaurés pour accomplir leur mission, grâce à des procédures de maintenance corrective ou préventive suite à une dégradation ou d'une défaillance. Pour ce faire, une bonne organisation de maintenance industrielle contribue à améliorer l'efficacité et la disponibilité des équipements pour les services de production.

I.3.1 Définition de la maintenance

Au fil de temps, sa définition s'est élargie : La maintenance regroupe aujourd'hui l'ensemble des pratiques et activités rentables mises en place pour assurer le bon fonctionnement des opérations. Elle est désormais appelée Opération, réparation et révision. D'après la définition de L'AFNOR, la maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié, afin d'assurer un service déterminé. Elle est définie comme étant « *l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives 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* » [8].

I.3.2 Différents types de maintenance industrielle

Il existe des différents types de la maintenance (Fig. I. 2), déclinés en deux grandes catégories identifiables : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

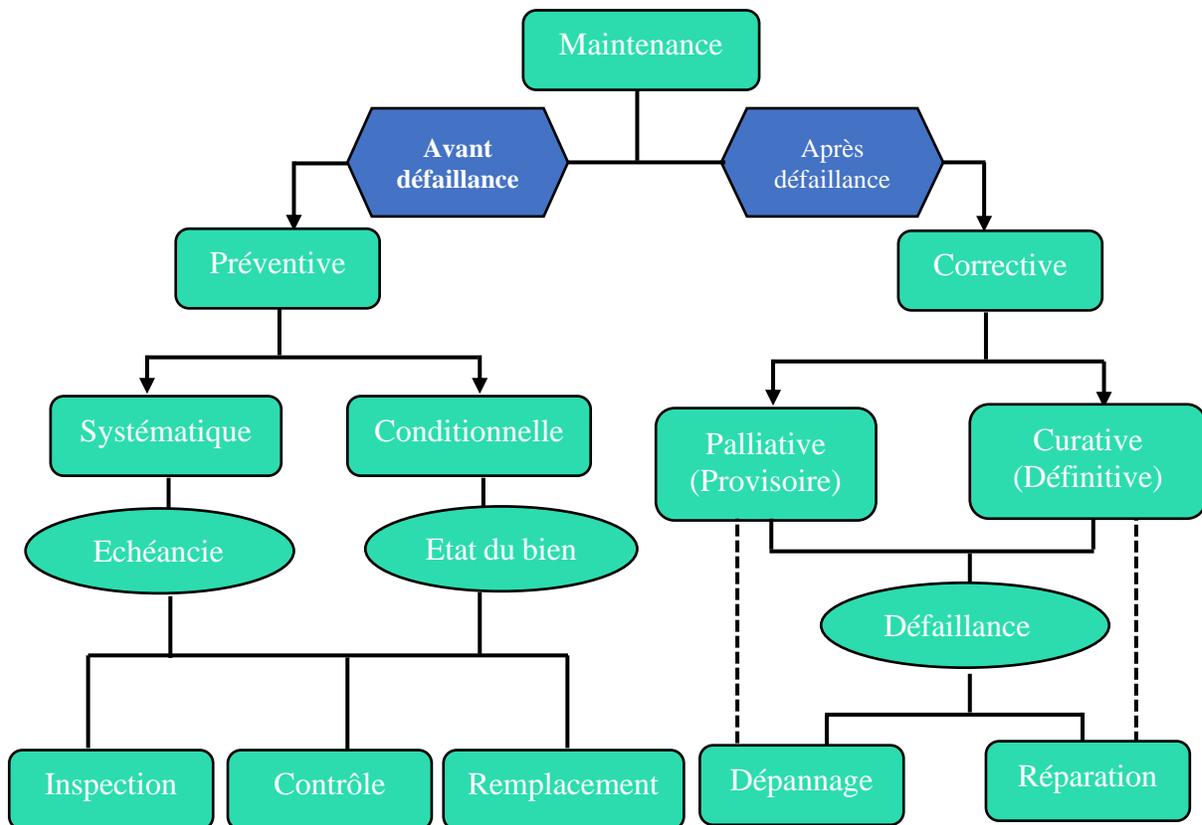


Fig. I. 2 : Classification des divers types de maintenance (AFNOR).

I.3.2.1 Maintenance corrective

Le concept de maintenance corrective concerne l'ensemble des activités réalisées après l'apparition de la défaillance d'un bien ou la dégradation de ses fonctionnalités, dans l'intention de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités évoluent la localisation de la défaillance, ainsi que la remise en état nominal suivi d'un contrôle de bon fonctionnement. Le caractère provisoire ou définitif permet d'envisager les notions de maintenance palliative et curative. Les intervalles de temps séparent les dates d'exécution des tâches de maintenance corrective et les dates de détections des défaillances [9].

- Maintenance palliative

La maintenance palliative destinée de permettre à un matériel du point de vue sûreté ou disponibilité, d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Elle correspond aux dépannages provisoires qui seront suivis ultérieurement d'interventions curatives [10].

- Maintenance curative

La maintenance curative qui a pour but de rétablir un matériel défaillant dans un état spécifié, ou de lui permettre d'accomplir définitivement ses fonctions requises. L'intervention peut avoir lieu juste après l'apparition d'une défaillance ou après un dépannage [10].

I.3.2.2 Maintenance préventive

Ce type de plan maintenance est recommander à suivre, planifier et effectuer des interventions de maintenance préventive à des intervalles prédéterminés ou selon certains critères prescrits efficacement pour s'assurer de l'état de fonctionnement. Cela également destinées à réduire la probabilité de défaillance, Il faut dire que les actions de maintenance préventive permettent de diminuer les arrêts de productions très coûteux. On distingue parmi ces interventions trois types [8].

- Maintenance préventive systématique

Ce type de maintenance préventive se distingue par sa périodicité systématique, elle est réalisée à des intervalles de temps bien définis en amont, ce service de maintenance permet ainsi de remplacer les composants les pièces régulièrement, ce qui améliore la productivité des équipements industriels. Cet entretien préventif repose donc sur une inspection régulière des différents équipements permettent de collecter les informations nécessaires sur les différents composants de la chaîne de production et de prévenir efficacement les pannes, les défaillances

et l'usure prématurée [8]. La figure ci-après montre que l'intervention préventive systématique (Ipsi) s'effectue après un échancier (périodique) d'intervention prédéterminée (T) constante.

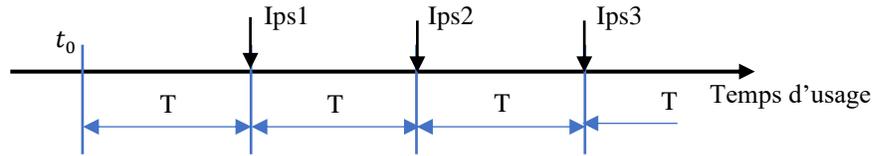


Fig. I. 3 : Déroulement chronologique des actions de maintenance préventive systématique.

- Maintenance préventive conditionnelle

Ce type de préventif fondée sur une surveillance continue de système ainsi que des paramètres significatifs de son fonctionnement. Pratiquement, ce type de maintenance se base sur le principe d'éviter tout remplacement d'un élément tant que ce dernier ne présente pas des signes de vieillissement ou d'usure. Mais elle présente aussi des inconvénients : Il n'est pas toujours possible de trouver ce paramètre significatif de fonctionnement et de le mesurer, parfois donc le remplacement de notre composant peut être urgent, effectivement une intervention non programmable déclenché (Fig. I. 4) [9].

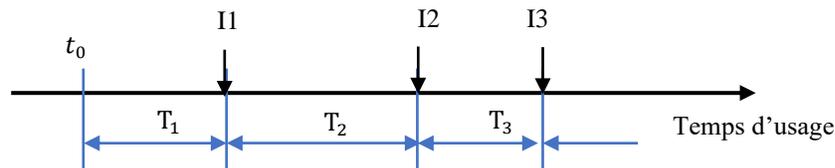


Fig. I. 4 : Déroulement chronologique des actions de maintenance préventive conditionnelle.

Sur la figure. I. 4, I_1 représente l'intervention de maintenance préventive conditionnelle, dont laquelle $T_1 \neq T_2 \neq T_3$, qui représente la période d'intervention.

- Maintenance prévisionnelle

La maintenance conditionnelle prévisionnelle est exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évolution des paramètres significatifs de la dégradation du bien. Cette politique de maintenance se définit comme étant une maintenance préventive dépendante de l'examen de l'évolution contrôlée des paramètres significatifs de dégradation d'un système, permettant de planifier les interventions nécessaires [4].

Dans ce cadre, nous résumons à l'origine, dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. Cela pour améliorer les conditions des fonctions existantes, En effet la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance,

mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive.

I.3.3 Principales opérations de la maintenance

Généralement, de nombreux types d'opérations des systèmes coexistent afin de fournir aux industriels des possibilités d'optimiser le rendement d'un système et encore favoriser la qualité de production, en effet nous découvrons ces concepts en détail pour plus d'éclaircissement sur chaque type d'intervention de maintenance.

I.3.3.1 Opérations de maintenance corrective

Dans ce cadre, nous trouvons certaines opérations de maintenance corrective dont les définitions sont données ci-dessous [9].

◆ Dépannage

Le dépannage est l'une des opérations de maintenance les plus courantes. Elle consiste à intervenir après une panne d'un composant pour le remettre en état de fonctionnement, donc elle est effectuée selon des critères prédéterminés par un diagnostic préalable et peut être effectuée de façon temporaire.

◆ Réparation

C'est une intervention définitive, cela signifie qu'on répond à un besoin après une panne ou une défaillance. L'équipement doit fonctionner dans les conditions identiques pour lesquelles il a été conçu. Ainsi, la réparation peut être appliquée par exemple sur les tuyauteries industrielles.

◆ Diagnostic

Identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'information provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

I.3.3.2 Opérations de la maintenance préventive

Ces types d'intervention répondent à plusieurs objectifs, tout d'abord mettre en place ce plan d'opérations ont pour but de préserver les performances des matériels et d'éviter les réparations coûteuses, ainsi ces opérations visent à mettre à jour régulièrement le système [8].

◆ Inspection

C'est des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et d'exécuter des réglages simples qui ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de production ou des équipements.

◆ Contrôle

De nos jours, des techniques sont utilisées pour caractériser les propriétés des composants, cela permettra de détecter les défauts prématurément et évitera ainsi les défaillances catastrophiques dans les secteurs industriels.

◆ Visite

C'est une opération de surveillance, nous procédons donc à un certain nombre de visites complètes entraînent le démontage de matériel pour vérifier son état, et pour procéder au remplacement systématique des composants élémentaires dits d'usure, de ce fait un certain nombre de visites intermédiaires entre deux visites complètes, afin de déceler prématurément un début de dégradation sur ces composants élémentaires, et éventuellement de le corriger avant la prochaine visite complète [10].

I.3.3.3 Autres opérations**◆ Révision**

Les révisions, dont l'objectif est l'examen, le contrôle des intervention effectuées sur un composant, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Dans cette situation les révisions peuvent être partielles ou générales comme la révision d'un compresseur ou d'une pompe, en particulier on distingue donc deux catégories de matériels [10] :

- **Un matériel réparable** : c'est un système peut être restauré plusieurs fois au cours de sa vie, de façon à accomplir une fonction spécifique, par des actions de maintenance corrective. C'est le cas de tous les systèmes complexes.
- **Un matériel non-réparable** : c'est un système qui est remplacé dès sa première défaillance, généralement dans ce cas, ces composant sont des pièces destinées les matériels défaillants, une seul fois au cours de sa vie. Exemple : Ampoules.

◆ Echange standard

C'est un remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuf ou remise en état conformément aux spécifications du constructeur [8].

I.3.4 Niveaux de la maintenance

I.3.4.1 Définition des niveaux de maintenance

Par définition, ce type d'action de maintenance rénovation, reconstruction, etc. ..., est effectuée par le constructeur, ou par une société spécialisée, avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication [11].

- **Tâche de maintenance du premier niveau**

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.

- **Tâche de maintenance du deuxième niveau**

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien d'utilisation ou de mise en œuvre simple ou nécessitant une habilitation spécifique.

- **Tâche de maintenance du troisième niveau**

Opération qui nécessite des procédures complexes et/ou des équipements de soutien d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.

- **Tâche de maintenance du quatrième niveau**

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipement de soutien spécialisés.

- **Tâche de maintenance du cinquième niveau**

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulière, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.

I.3.4.2 Classification des niveaux de maintenance

Les niveaux de maintenance caractérisent la complexité des actions de maintenance à réaliser en fonction de [8] :

- La complexité de la procédure d'intervention.
- La complexité d'utilisation ou de mise en œuvre des équipements de soutien nécessaires.

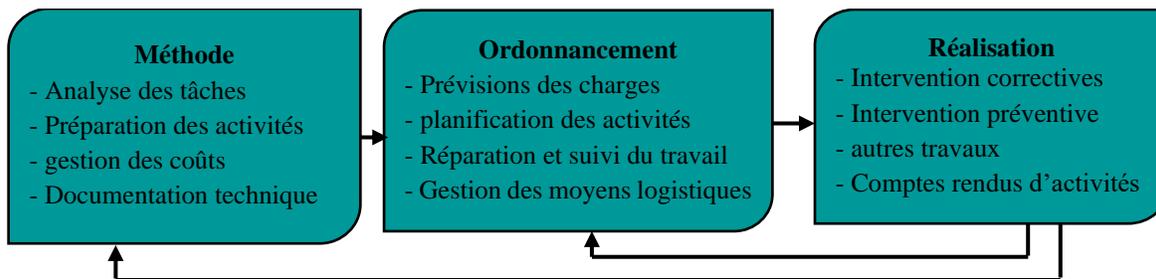
Les interventions sont classées par rang de technicité croissant selon le tableau. I. 2 suivant

Tab. I. 1 : Niveaux de maintenance.

Opération de maintenance	Caractéristiques de l'opération	Personnel d'intervention	Informations sur l'opération
1 ^{er} Niveau	Action simple Procédures simples Accès facile	Exploitant du système sur place, (opérateur machine)	Outillage léger défini dans la notice d'utilisation
2 ^{ème} Niveau	Procédure simple Mise en œuvre simple + outillage	Technicien habilité sur place (qualification moyenne)	Outillage standard et pièces de rechange situés à proximité.
3 ^{ème} Niveau	Procédure complexe Mise en œuvre complexe	Technicien spécialisé sur place ou en local de maintenance.	Outillage et appareils de mesure.
4 ^{ème} Niveau	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.	Equipe encadrée par un technicien spécialisé en atelier central	Outillage général et spécialisé et spécialisé.
5 ^{ème} Niveau	Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central.	Équipe complète et polyvalente en atelier central	Moyens importants proches de la fabrication par le constructeur

I.3.5 Fonctions de la maintenance

Les fonctions de la maintenance sont réparties en trois services avec la classification schématique illustrée par la Figure. I. 6. La mission principale de ces fonctions est la gestion optimisée des équipements de production en fonction des objectifs propres à l'entreprise et surtout la disponibilité de l'outil de production [9].

**Fig. I. 5 :** Trois fonctions opérationnelles de la maintenance.

I.3.5.1 Méthode

La fonction méthode permet la préparation des travaux de maintenance, dont le but est de diminuer le plus possible les coûts de maintenance.

I.3.5.2 Ordonnancement

La fonction ordonnancement permet l'intervention optimale avec tous les moyens nécessaires : personnel, outillage, préparation, dossier technique, moyens spéciaux (appareils de levage, etc.), pièce de rechange.

I.3.5.3 Réalisations des interventions

La fonction réalisation a pour objectif d'utiliser les moyens mis à la disposition, suivant les procédures imposées dans les délais préconisés. La réalisation peut nécessiter un diagnostic, c'est-à-dire identifier et caractériser la défaillance.

I.3.6 Objectifs de la maintenance

Les différents objectifs de la maintenance présentés sur la figure. I. 6 sont clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte des trois facteurs essentiels : Facteur technique, économique ainsi que le facteur humain et écologique qui sont résumé comme suite [12] :

- Assurer le fonctionnement du système, dans le but d'atteindre les objectifs de la production en garantissant la disponibilité et le bon fonctionnement des machines ;
- Garder les équipements en bon état afin d'exécuter leurs fonctions prévues, pour objectif d'augmenter leurs durées d'usage ;
- Assurer le bien-être humain, en dépit des aspects techniques et économiques ;
- Assurer la sûreté et la sécurité des équipements de production et de tous les capitaux, en assurant un niveau de risque inférieur à une limite appropriée.

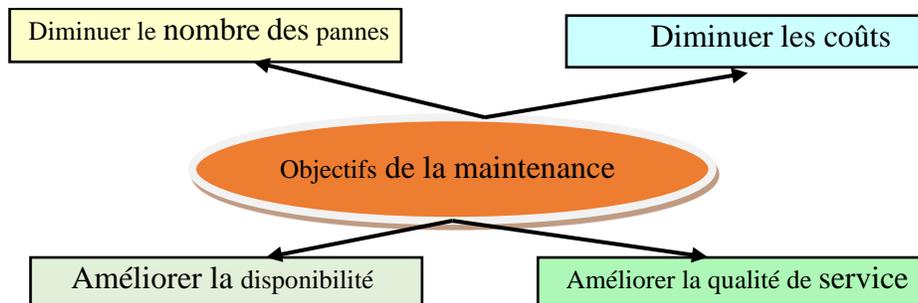


Fig. I. 6 : Objectifs de la maintenance.

I.4 . Rappels sur la sûreté de fonctionnement et le cadre d'étude

Généralement la sûreté de fonctionnement se caractérise par quatre paramètres clé pour l'étude de comportement du produit dans différentes phases de leur vie. La figure. I. 7 présente la relation entre les composants de la sûreté de fonctionnement.

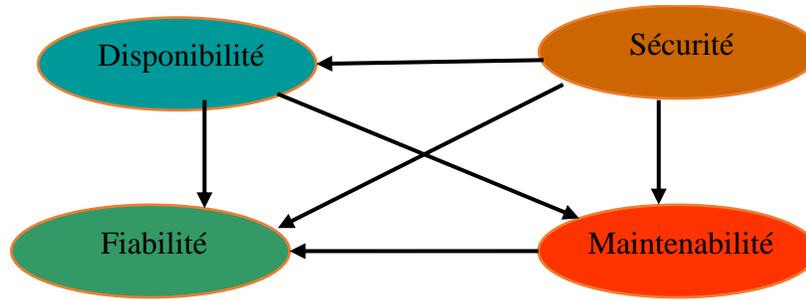


Fig. I. 7 : Relation entre les composantes de sûreté de fonctionnement.

I.4.1 Concepts de la fiabilité

En pratique, la fiabilité se traduit souvent comme l'aptitude d'une entité à avoir une faible fréquence de défaillance, à l'origine une définition de la fiabilité est donnée comme étant « *C'est l'aptitude d'un système à accomplir une mission, de manière satisfaisante, donnée durant une période déterminée dans des conditions spécifiées, durant un intervalle de temps donné* » [13].

I.4.2 Principales fonctions statistiques utilisées en fiabilité

Nous présenterons dans ce qui suit, les principales fonctions statistiques en fiabilité, de plus quelques distributions (Weibull, Exponentiel, etc.) qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse des données et qui sont communes à plusieurs disciplines.

◆ Fonction de répartition

La fonction de répartition $F(t)$ de l'équipement est la probabilité complémentaire de la fonction de survie $R(t)$ [14], représente la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période $[0, t]$.

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (I.1)$$

◆ Fonction de fiabilité

La fiabilité d'un système s'exprime par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée. Nous la désignons, dans ce qui suit par $R(t)$ où t désigne la durée de la mission [15]. Elle est définie par :

$$R(t) = P(T > t) \quad (I.2)$$

On peut donc écrire :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (I.3)$$

◆ Fonction de densité de probabilité

La fonction $f(t)$ définit la densité de probabilité des durées de vie de l'équipement à un instant donnée, donc elle représente la probabilité de défaillance d'un élément à l'instant t . C'est la fonction dérivée de la fonction $F(t)$ [13], elle est donnée par :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(T)}{dt} \quad (I.4)$$

◆ Temps moyen de bon fonctionnement

Par définition c'est la durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance qui correspond à l'espérance mathématique de la durée de vie T [16], notée MTTF (en anglais, Mean Time to Failure).

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} 1 - F(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (I.5)$$

◆ Taux de défaillance

Le temps de défaillance $\lambda(t)$ exprime la probabilité de défaillance pour qu'un élément tombe en panne au cours de $(t, t + dt)$, sachant qu'il a fonctionné sans défaillance jusqu'à la date t [17]. Donc le taux de défaillance est donné sous la forme suivante :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (I.6)$$

I.4.3 Impact de la maintenance sur la fiabilité d'un matériel

La courbe en baignoire présentée dans la figure. I. 8, donne l'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction de l'âge du matériel. Nous distinguons trois phases de la vie [10] :

◆ Phase de jeunesse

C'est une période de rodage et d'adaptation, mise en service et réglage. Préalablement Caractérisée par des défaillances « précoces », un taux de défaillance est décroissant et une période très courte.

◆ Phase de maturité ou vie utile

C'est une période de rendement optimal, durant laquelle les défaillances sont aléatoires et le taux de défaillance est considéré sensiblement constant durant cette phase.

◆ Phase de vieillesse

La phase de vieillesse se caractérise par un mode de défaillance prédominant avec une dégradation accélérée et un temps de défaillance croît.

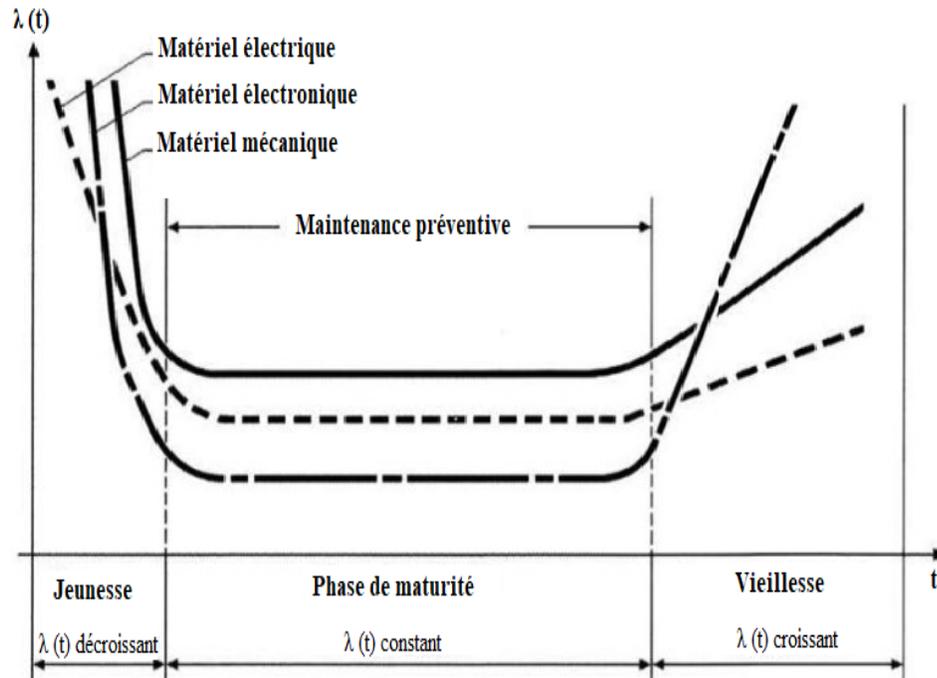


Fig. I. 8 : Allure de l'évolution de l'intensité de défaillance $\lambda(t)$ « courbe en baignoire ».

I.4.4 Lois de probabilité usuelles utilisées en fiabilité :

I.4.4.1 Loi exponentielle

C'est un cas particulier de la loi de Weibull, cette loi est définie par un seul paramètre constant (λ), elle est utilisée pour évaluer la fiabilité des matériaux qui subissent des défaillances brutales tel que l'électronique (Fig. I. 9). Le tableau. I. 3 montre, par ailleurs, les expressions mathématiques de chaque fonction statistique de la loi exponentielle [18] :

Tab. I. 2 : Fonctions statistiques de la loi exponentielle.

Fonction statistique	Lois de la fonction
Fonction de fiabilité	$R(t) = \exp(-\lambda t); t \geq 0 \text{ et } \lambda \geq 0$
Densité de probabilité	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) ; t \geq 0$
Taux de défaillance	$\lambda(t) = \lambda$
Durée de vie moyenne	$MUT = \frac{1}{\lambda}$

I.4.4.2 Loi de Weibull

C'est une loi universel utilisée pour décrire la distribution des pannes et des nombreuses situations d'usure dans les trois phases de la vie d'un dispositif. Le tableau. I. 4 représente les diverses fonctions statistiques de la loi de Weibull [18].

Tab. I. 3 : Fonctions statistiques de la loi de Weibull.

Nom de la fonction	Expressions mathématiques
Fonction de répartition	$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right)$
Fonction de fiabilité	$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$
Densité de probabilité	$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$
Taux instantané de défaillance	$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$
Espérance mathématique	$E(t) = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ <p>Où Γ est la fonction gamma d'Euler (fonction tabulée) défini par :</p> $\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} \exp(-t) dt$

I.4.4.3 Etude de fiabilité par le model de Weibull

◆ Paramètre de forme β

D'après ce paramètre, nous pouvons distinguer la phase de vie dans laquelle notre système évolue dans le temps comme suit [19] :

- Le système est dans la période de jeunesse et son état s'améliore, quand $\beta < 1$ donc le taux de défaillance décroît.
- Le système est dans la période de maturité, ou la vie utile quand $\beta = 1$ donc le taux de défaillance est constant, on trouve la loi exponentielle.
- Le système se dégrade et se trouve dans la période de vieillesse, quand $\beta > 1$ donc le taux de défaillance croît.

◆ Paramètre d'échelle η

Ce paramètre indique l'ordre de grandeur de la durée de vie moyenne, lorsque $t - \gamma = \eta$, alors $F(t) = 63\%$

◆ Paramètre de localisation γ

Il a la même unité que celle du temps, dans la plupart des cas considéré nul, et la loi de Weibull est ramenée à deux cas qui peuvent être pris en compte :

- Quand $\gamma < 0$, le système a subi des dégradations avant sa mise en marche
- Quand $\gamma > 0$, le système n'a pas subi des dégradations avant sa mise en marche

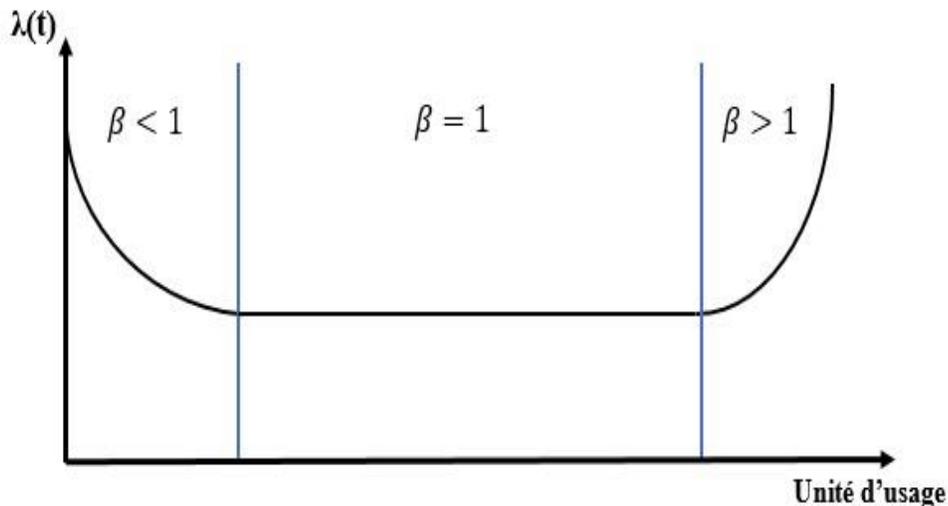


Fig. I. 9 : Variation du taux de défaillance en fonction de β – loi de Weibull.

I.4.5 Fiabilité des systèmes

I.4.5.1 Système en série

On dit qu'un système est en série si la panne de n'importe quel élément du système engendre la panne de tout le système, ou encore le système fonctionne si tous ses éléments fonctionnent [14].

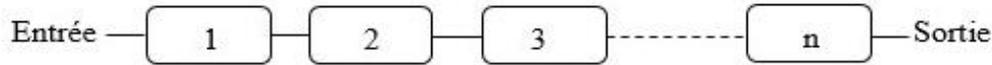


Fig. I. 10 : Diagramme de fiabilité d'un système en série.

Ainsi la fiabilité du système, noté $R(t)$ est le produit des fiabilités des systèmes qui le composent :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (I.7)$$

I.4.5.2 Système en parallèle

Contrairement au système précédent, ce système continue à fonctionner si au moins un composant fonctionne, en d'autres termes, il est en panne lorsque tous ses éléments sont en pannes [14].

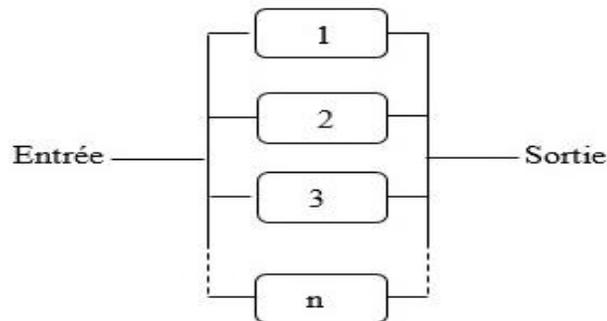


Fig. I. 11 : Diagramme de fiabilité d'un système en parallèle.

La fiabilité de système est alors :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (I.8)$$

I.4.5.3 Combinaison des composants en série et en parallèle

Ce système est une combinaison des deux structures précédentes, cela engendre la soumission du système mixte à la combinaison des conditions de fonctionnement des deux structures précédemment citées.

I.4.6 Maintenabilité

Elle peut se traduire comme étant une caractéristique permettant d'assurer la disposition et la probabilité de rétablir un système dans les meilleures conditions possibles. Généralement la maintenabilité d'un équipement est donc sa capacité à être rapidement dépanné. C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiques, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits [13].

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } n \text{ panne}}{\text{nombre de panne}(n)} \quad (\text{I.9})$$

Le principal indicateur de maintenabilité est le *MTTR*, qui désigne le temps nécessaire pour réparer un bien et lui redonnée toutes ses fonctionnalités.

- **Taux de réparation μ** : la probabilité pour que le dispositif soit remis en service.

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{I.10})$$

I.4.7 Disponibilité

La disponibilité d'un système est caractérisée par la probabilité de fonctionnement qui se stabilise dans le temps, c'est finalement un indicateur de performance utilisé pour mesurer le pourcentage de temps qu'une machine a réellement été utilisée. C'est l'un des indicateurs clés qui donne un aperçu de l'efficacité de la production, s'exprimé sous la forme suivante [9] :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{I.11})$$

I.4.8 Sécurité

Le service de maintenance et de sécurité industrielle sont pour principe de garantir le fonctionnement des capacités de production. De ce fait, avant d'effectuer une opération de maintenance sur la machine, il faut avoir déterminé avec exactitude les organes défailants, en effet les consignes de sécurité, des procédures, des périodicités d'interventions doivent être impérativement prises en compte par les personnels intervenants. Le non-respect de ces préconisations peut occasionner une détérioration de la machine ainsi que des dommages corporels sur les personnels intervenants [12].

I.4.9 Temps de Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité

La figure.I.12 schématise les étapes successives que peut prendre un système réparable au cours de son usage [10] :

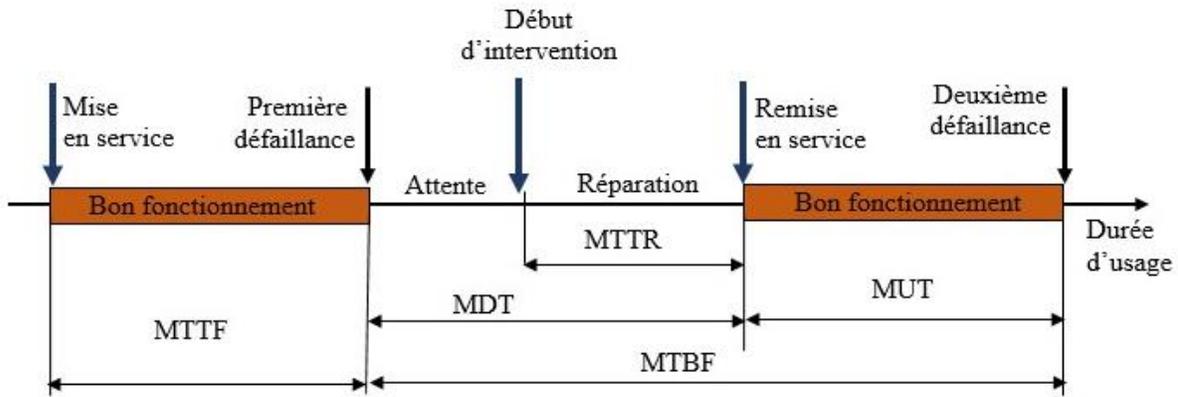


Fig. I. 12 : Les durées caractéristiques de FDM.

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le cadre général de la maintenance, qui a pour objectif d'établir et de maintenir un équipement dans des conditions de production optimale. Par la suite nous avons présenté une synthèse bibliographique sur la sûreté de fonctionnement, plus concrètement la connaissance de ces notions est primordiale pour garantir la disponibilité des systèmes, aussi pour pouvoir implanter une stratégie de maintenance efficace et rentable. De plus, nous avons montré clairement que l'étude de fiabilité est justement l'un des outils indispensables pour réduire les pannes probables de ces équipements.

La maintenance préventive a une mission émergente qui nous conduisons à une meilleure gestion centrée sur une procédure qui minimise l'apparition d'un événement imprévu, dans le but de réduire les temps d'arrêts et d'augmenter la fiabilité des équipements. La loi de Weibull est essentiellement très importante pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie.

Chapitre II :

Modélisation Et

Évaluation des Effets

De La Maintenance

Chapitre.II Modélisation et évaluation des effets de la maintenance

II.1 Introduction

Les politiques de maintenance et leurs évolutions demeurent une préoccupation particulièrement forte au sein des entreprises. Dans un contexte industriel tend à étudier ces effets sur des objectifs plus globaux en analysant la vision économique, de plus en plus étroitement liés à la qualité des interventions de maintenance.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter tout d'abord les modèles et les approches de modélisation de la maintenance développés dans la littérature. Une étude bibliographique plus ciblée sur la modélisation mathématique de la fiabilité d'un système pour la concrétisation de l'approche expérimentale, afin de resserrer le cadre de notre problématique et de justifier le choix de modélisation effectués.

II.2 Définition de la politique de maintenance

La politique de maintenance se définit par un ensemble d'actions exécutées et ordonnées selon une certaine stratégie au niveau de l'actif, vise à ajuster le type de maintenance, ainsi que les ressources consenties en fonction de l'importance de chaque machine dans le processus et des valeurs des indicateurs FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) [8].

II.3 Gestion des activités de maintenance

Comme nous l'avons vu durant notre période de stage au sein de complexe agro-alimentaire CEVITAL, des procédures simplifiant les activités de maintenance, cela nous a permis de découvrir les principales fonctionnalités d'un logiciel de GMAO (Fig. II. 1).

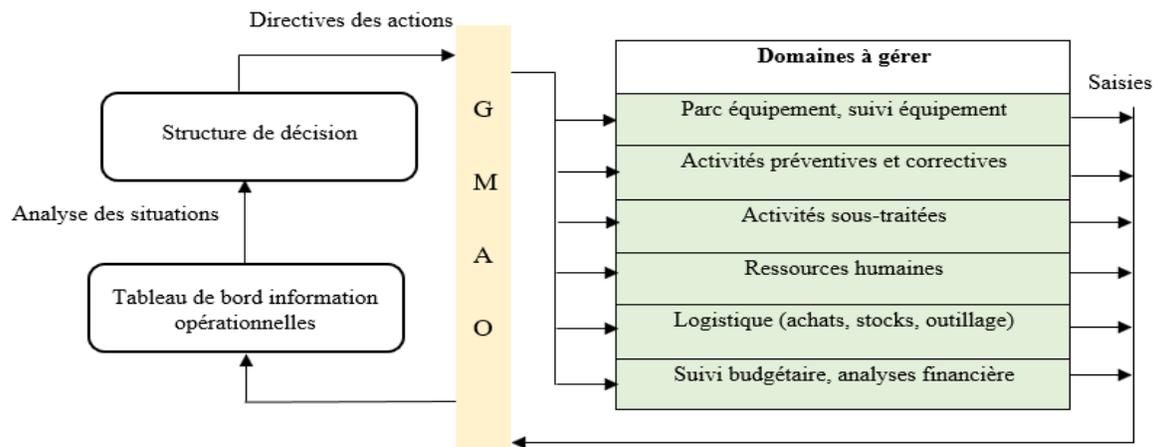


Fig. II. 1 : Gestion des activités de maintenance avec support d'une GMAO.

Il s'agit alors d'un logiciel COSWIN, tels que pour accéder aux différentes fonctionnalités de ce dernière, donc il est composé d'un ensemble de modules, permettent de traiter les événements et les tâches quotidiennes du service maintenance. Ces procédures ayant pour but de piloter et gérer les travaux de maintenance, le déroulement des interventions est détaillé dans le schéma ci-après (Fig. II. 2).

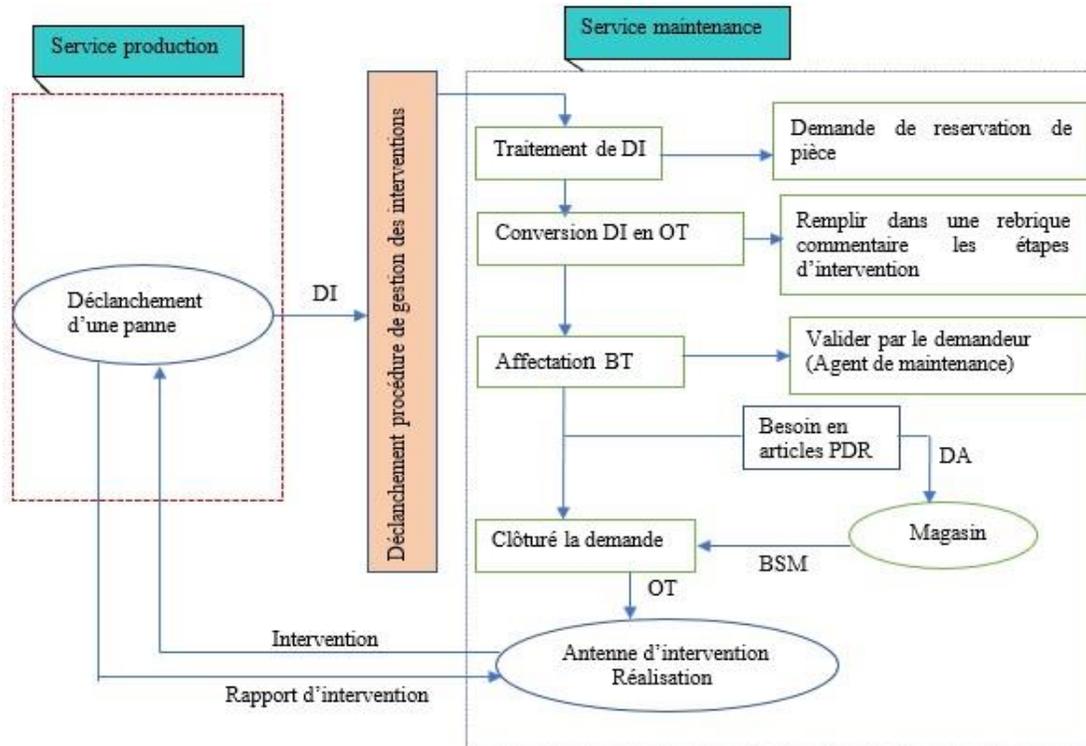


Fig. II. 2 : Déroulement des interventions de service maintenance.

II.4 Effet de la maintenance sur les systèmes

Nous allons focaliser maintenant sur les modèles de base de la maintenance. Pour ce faire, nous distinguons les opérations de maintenance qui reposent sur les caractéristiques fiabilistes telle que le taux de défaillance ou la distribution de durée de vie des équipements. Trois modèles peuvent être utilisés pour décrire la relation entre le comportement de défaillance d'un système et la politique de maintenance appliquée. Nous classifions ces opérations de maintenance en fonction du niveau de restauration du système après intervention.

II.4.1 Maintenance parfaite

La première classe désigne la maintenance dite parfaite. Elle définit un remplacement complet ou une réparation totale de l'entité lui permettant de retrouver un état aussi bon que

neuf (As Good As New – AGAN). Nous supposons ainsi que l'entité revient à son état initial à la suite de chaque intervention [20]. Exemple : révision complète d'un moteur.

Dans le modèle maintenance parfaite, les durées inter-défaillances, et donc inter-maintenance, sont alors indépendantes et de même loi [21]. On montre facilement que cela implique que l'intensité de défaillance s'écrit :

$$\lambda_t = \lambda(t - T_{N_t}) \quad (\text{II.1})$$

L'intensité λ_t pour un système réparable est une variable aléatoire fonction de N_t , $T_1 \dots T_{N_t}$. Pour les premières défaillances, elle correspond au taux de défaillance des systèmes non réparables, $\lambda(t)$ représente la fonction d'intensité de défaillance initiale avant d'effectuer une action de maintenance, qui est une valeur déterministe [10].

La Figure. II. 3 représente une trajectoire de l'intensité de défaillance d'un système soumis à des maintenances AGAN selon la loi de Weibull ($\beta = 3$ et $\eta = 500$), les instants des actions de maintenance parfaite sont représentés sur l'axe des abscisses par des étoiles, après chaque intervention de maintenance, l'intensité revient à zéro et repart parallèlement à la courbe de l'intensité initiale [22].

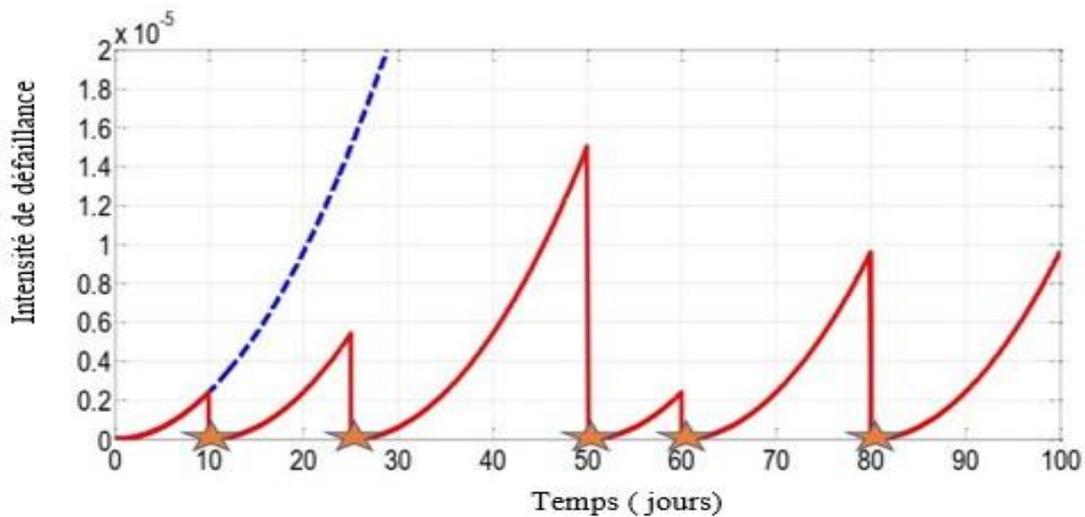


Fig. II. 3 : Intensité de défaillance dans le cas de maintenance parfaite (AGAN).

II.4.2 Maintenance minimale

La seconde classe désigne la maintenance ou la réparation dite minimale. Le matériel réparé se trouve dans un état identique à celui qu'il avait avant sa défaillance, qui correspond la réparation a uniquement pour but de permettre au matériel de terminer sa mission [10]. De plus, l'effet de la maintenance est nul, c'est-à-dire le comportement du matériel ne se détériore pas,

et n'améliore pas, mais reste constant au cours du temps. C'est la situation « Aussi mauvais que vieux » ce qui peut être traduit littéralement (As Bad As Old). Exemple : remplacement du ventilateur de refroidissement du moteur. Ce processus de renouvellement particulier est défini par une intensité constante [23] :

$$\lambda_t = \lambda(t) \quad (\text{II.2})$$

La Figure. II. 4 représente l'allure de la fonction d'intensité de défaillance d'un système selon la loi de Weibull ($\beta = 3$ et $\eta = 500$), qui a subi des actions de maintenance ABAO. Les carrés sur l'axe des abscisses symbolisent les instants des interventions de maintenance [22].

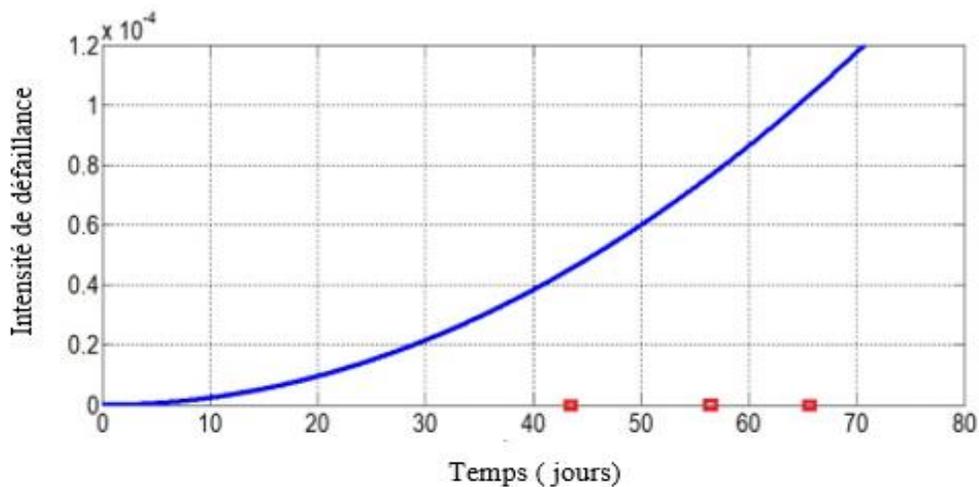


Fig. II. 4 : Intensité de défaillance dans le cas de maintenance ABAO.

II.4.3 Maintenance imparfaite

La maintenance imparfaite représente le cas intermédiaire entre AGAN et ABAO. De sorte que, Le système après chaque intervention de maintenance imparfaite est donc moins bon que neuf [24]. Nous prenons comme exemple : mise au point d'un moteur.

II.4.3.1 Modèle de Brown-Proschan

Historiquement le modèle de Brown-Proschan est l'un des premiers modèles de fiabilité qui a été utilisé pour les réparations imparfaites [25].

Ce modèle suppose que lorsqu'un système tombe en panne, la réparation est parfaite avec une probabilité p , et qu'il est remis à neuf (AGAN). Dans le cas contraire, la réparation est minimale avec une probabilité $(1 - p)$: le système est remis en service dans l'état où il était avant la défaillance, situation ABAO.

Les conséquences des maintenances sont caractérisées par les variables aléatoires B_i , effet de la $i^{\text{ème}}$ maintenance :

$$\begin{cases} B_i = 1 & \text{si la } i^{\text{ème}} \text{ réparation est parfaite (AGAN)} \\ B_i = 0 & \text{si la } i^{\text{ème}} \text{ réparation est minimale (ABAO)} \end{cases}$$

Les effets de la maintenance sont supposés indépendants des instants auxquels les maintenances sont réalisées, et sont mutuellement indépendants entre eux.

Les variables B_i sont des variables aléatoires indépendantes, elles sont aussi indépendantes des temps entre défaillances, X_j , $j \leq i$, et agissent donc comme un processus externe. L'intensité de défaillance est de la forme suivante :

$$\lambda_t = \lambda \left((t - T_{N_t} + \sum_{j=1}^{N_t} \left[\prod_{K=j}^{N_t} (1 - B_K) \right] (X_j) \right) \quad (\text{II.3})$$

La figure. II. 5 illustre l'intensité de défaillance dans le modèle Brown-Proschan selon la loi de Weibull ($\beta = 2.5$ et $\eta = 200$), les instants de maintenance ABAO sont représentés sur l'axe des abscisses par des carrés et ceux de maintenance AGAN sont montrés par des étoiles [19].

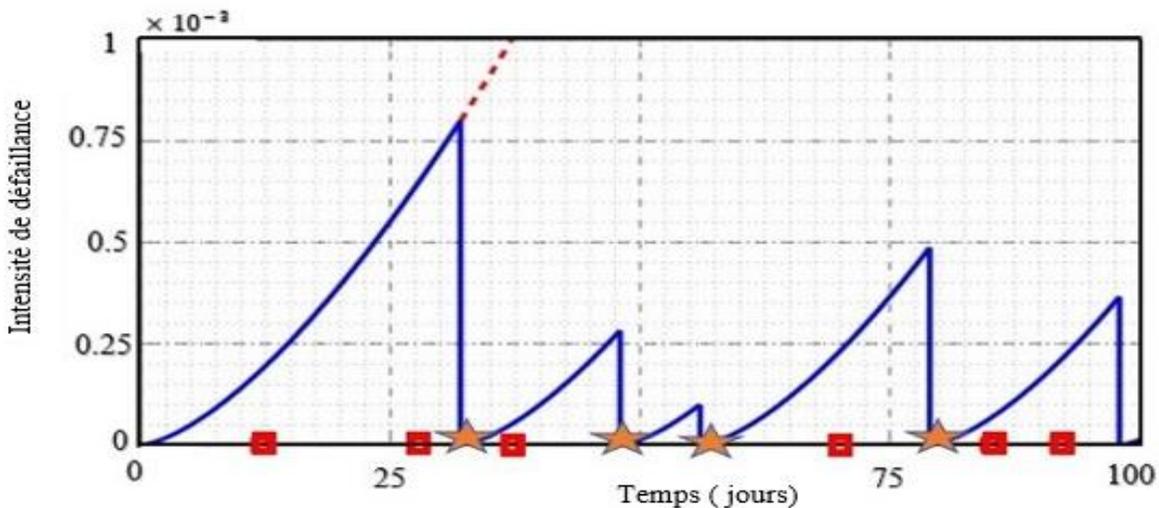


Fig. II. 5 : Trajectoires de l'intensité de défaillance dans le modèle Brown-Proschan.

II.5 Généralisation du processus de renouvellement d'une maintenance imparfaite

Dans ce cadre, nous allons proposer des modèles de maintenance imparfaite permettant de s'adapter aux différents types de jeux des données rencontrées en pratique, Nous pouvons aussi classer les actions de maintenance préventive ou corrective en fonction de leur effet sur

les conditions de fonctionnement des matériels. À partir de ces données, il est alors nécessaire de simplifier et développer les principaux modèles de maintenance imparfaite.

II.5.1 Evaluation les modèles de réduction d'intensité de défaillance

Chan et chaw ont développé un raisonnement basique sur les modèles à réduction d'intensité de défaillance, dans lequel suppose que l'impact de la maintenance est imparfait. Ce modèle peut aussi bien décrire l'effet de la maintenance et de réduire l'intensité de défaillance d'une quantité proportionnelle à la valeur qu'elle avait juste avant la défaillance [26].

$$\lambda_{T_i^+} = \lambda_{T_i^+} - \rho \lambda_{T_i^-} \quad (\text{II.4})$$

Avec $0 < \rho < 1$, tel que : $\lambda_{T_i^+}$ et $\lambda_{T_i^-}$ sont les limites à droit respectivement à gauche de λ_t quand t tend vers T_i et ρ représente la quantité de réduction de l'intensité de défaillance. Compte tenu de ces implémentations d'actions de maintenance imparfaites, et des principaux modèles proposés dans la littérature, nous illustrons les modèles de réduction d'intensité de défaillance ci-après (Fig. II. 6).

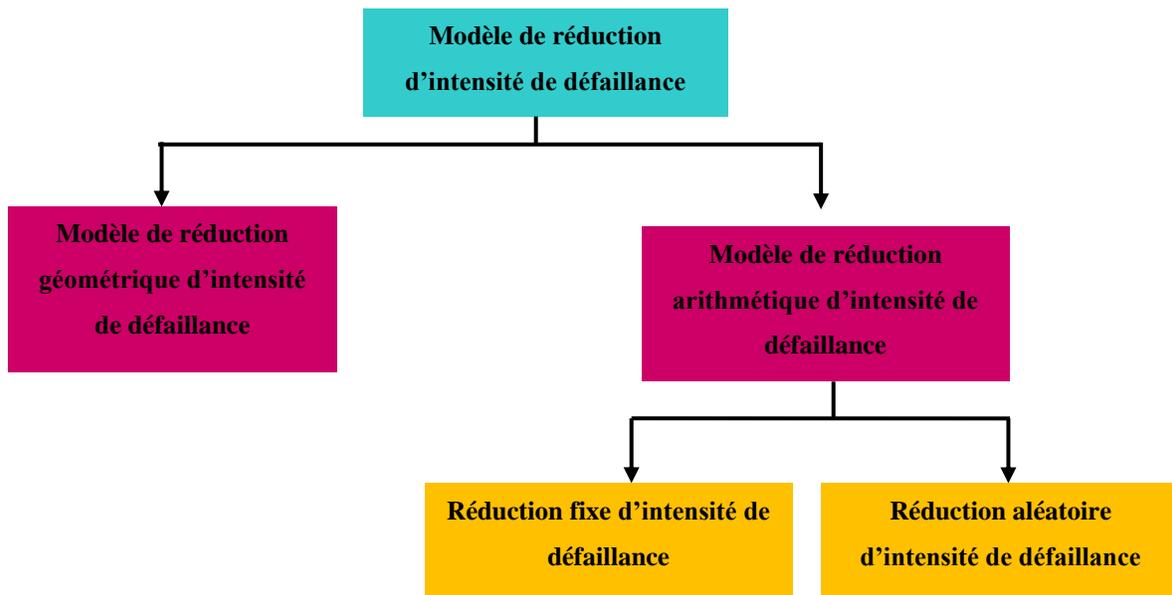


Fig. II. 6 : Différents modèles de réduction d'intensité de défaillance.

II.5.2 Modèle de réduction d'âge virtuel

Le principe des modèles d'âge virtuel consiste à supposer qu'après la $i^{\text{ème}}$ réparation, le système fonctionne comme un système neuf qui aurait vécu un âge A_i sans avoir eu de panne. Cet A_i appelé âge virtuel, nous définissons de façons naturelle l'âge virtuel du système à tout

instant t , que le nous notons $A(t)$ [27]. C'est l'âge virtuel qu'à le système à la dernière panne auquel on rajoute le temps écoulé depuis cette dernière panne, c'est-à-dire :

$$A(t) = t - T_{Nt} + A_{Nt} \quad (\text{II.5})$$

Alors, l'intensité de défaillance du modèle s'exprime en fonction de cet âge virtuel :

$$\lambda_t = \lambda(t - T_{Nt} + A_{Nt}) \quad (\text{II.6})$$

Pour $T_{Nt} < t < T_{Nt+1}$, Intuitivement une action de maintenance se traduit par une réduction totale, partielle, ou nulle, de l'âge de matériel à chaque intervention de maintenance. Ces modèles généralisent les modèles AGAN et ABAO. En effet, si nous considérons que les âges virtuels sont nuls après chaque réparation ($A_{Nt} = 0$), cela revient à dire que le système est remis à neuf (modèle de réparation parfaite AGAN). À l'inverse, si l'âge virtuel après chaque réparation est identique à l'âge réel du système ($A_{Nt} = T_{Nt}$), cela revient bien à avoir des réparations minimales remettant le système dans l'état où il était avant la panne (modèle ABAO).

II.5.2.1 Modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel

Dans ce modèle l'effet de la $i^{\text{ème}}$ maintenance est réduire partiellement l'âge virtuel de système avant la défaillance au temps T_i , d'une quantité proportionnelle à la durée écoulée depuis la dernière maintenance. De ce fait, l'efficacité de la maintenance est caractérisée par le facteur d'amélioration ρ [28]. L'intensité de défaillance s'écrit :

$$\lambda_t = \lambda(t - \rho T_{I_M}) \quad (\text{II.7})$$

Ce paramètre ρ est appelé aussi efficacité de la maintenance. Il résulte les modèles particuliers suivants pour chaque type de modèle :

- Si $0 < \rho < 1$, la maintenance est imparfaite (efficace) ;
- Si $\rho = 1$, la maintenance est optimale, l'intensité de défaillance revient à 0, il s'agit donc de la maintenance parfaite (AGAN) ;
- Si $\rho = 0$, la maintenance est minimale (ABAO) ;
- Si $\rho < 0$, la maintenance est nuisible.

II.5.3 Modèles hybrides

La plupart des modèles présentés auparavant sont adaptés aux systèmes qui vieillissent avec le temps, donc aux systèmes à intensité de défaillance croissante en fonction de temps. Ces modèles introduisent un, ou plusieurs paramètres complémentaires dans le processus de

défaillance. Ces paramètres sont censés modéliser l'impact de l'efficacité des interventions de maintenance sur la fiabilité des matériels [10]. D'une manière générale, le modèle hybride est une combinaison entre les deux classes de réduction d'intensité de défaillance, en effet dans cette classe de modèles qui vient améliorer le concept de la réduction de l'âge virtuel. Après la $i^{\text{ème}}$ action de maintenance imparfaite, l'équation mathématique de l'intensité de défaillance est [29] :

$$\lambda_t = \alpha \lambda(t - bT_{Nt}) \quad (\text{II.8})$$

Tel que : $T_{Nt} < t < T_{Nt+1}$, $0 < b < 1$ et $\alpha > 1$

La valeur de a détermine les effets de l'action de maintenance effectuée sur le système, nous distinguons quatre cas qui sont montrés dans la figure. II. 8 :

- $a > 1$ et $0 < b < 1$: modèle hybride avec réduction de l'âge virtuel et une augmentation de la dégradation ;
- $0 < a < 1$ et $0 < b < 1$: l'effet est double (modèle hybride avec réduction de l'âge virtuel et réduction géométrique d'intensité de défaillance) ;
- $0 < a < 1$ et $b = 0$: modèle de réduction géométrique d'intensité de défaillance ;
- $a = 1$ et $0 < b < 1$: modèle de réduction proportionnelle de l'âge virtuel.

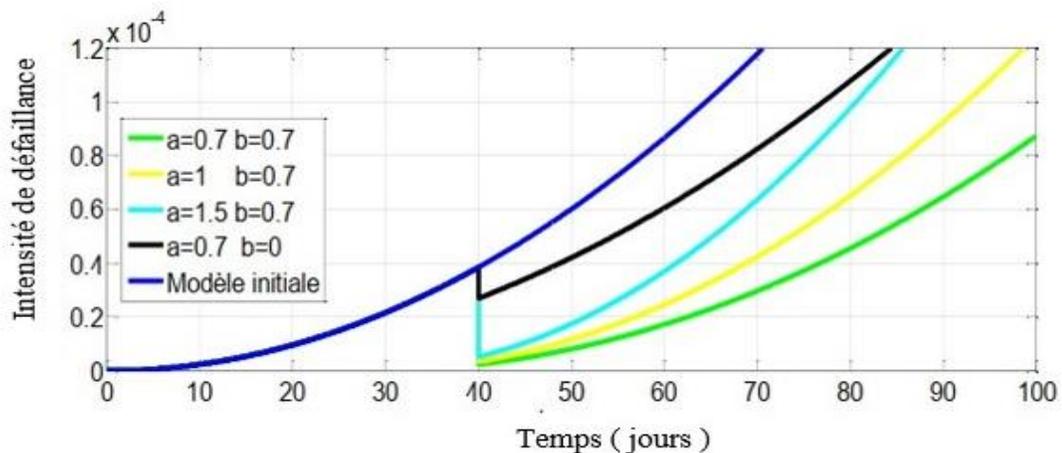


Fig. II. 7 : Intensité de défaillance dans le modèle hybride.

II.6 Optimisation des politiques de maintenance

En premier lieu, nous pouvons définir l'optimisation de la maintenance comme étant un processus conduisant à la reprise d'un ensemble des mesures pour assurer une meilleure efficacité [20]. Par conséquent, Il faut alors déterminer le temps de remplacement qui

minimiserait le coût total par unité de temps. En effet les instants de maintenance et les actions à effectuer de manière à optimiser un critère de décision fixé, ce critère de décision peut aussi bien reposer sur le coût. Pour toutes ces raisons, Il est crucial d'évaluer la capacité de production et d'optimiser la maintenance de leurs installations afin d'assurer une continuité des services et d'améliorer leurs performances d'exploitation. C'est pour cela d'ailleurs, l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. La figure. II. 9 récapitule les effets de fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive.

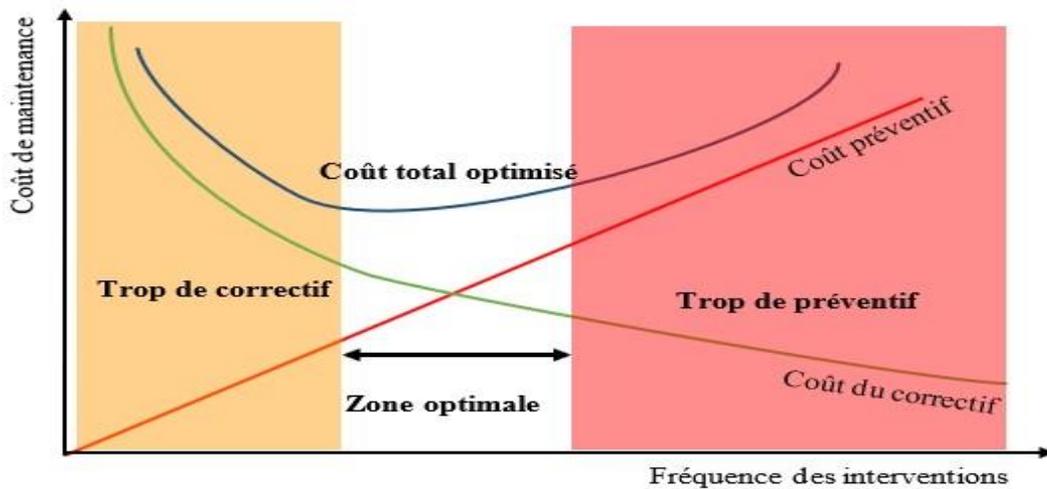


Fig. II. 8 : Aspect des coûts de maintenance en fonction de fréquence des interventions.

La concurrence et les pressions de marché ont exigé des taux de production élevés, de ce fait les entreprises sont donc contraintes à faire fonctionner leurs systèmes de production. Et de fournir des données nécessaires à la mise en place des procédures optimale qui répondent à la demande des taux de production les plus élevés sans nuire à la fiabilité et sans augmentation des coûts. Une amélioration de la performance opérationnelle de la maintenance passe par une réduction de la durée des arrêts suite à une défaillance. Cela permet d'améliorer le temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) des équipements et d'optimiser le taux de disponibilité en réduisant le temps moyen de remise en état des équipement (MTTR).

II.7 Coûts relatifs aux diverses actions de maintenance

Principalement, nous y trouvons deux coût essentiels distinctes qui sont les suivants :

II.7.1 Coûts directs liés directement au service

Les coûts directs de maintenance correspondent aux coûts directement imputables à la maintenance, à l'exclusion des coûts résultants de l'indisponibilité et des dégradations de fonction des équipements [8], donc ce sont des charges financières composés de :

- Coût de main d'œuvre : il représente le salaire de l'ensemble des employés de la maintenance ;
- Les frais de stockage : ce sont les coûts liés à la gestion du magasin des pièces de rechange ;
- Coût des pièces de rechange : il récapitule le coût des pièces de rechange et des consommables lors des actions de maintenance corrective ;
- Les frais de la sous-traitance : ils regroupent les coûts de maintenance externalisée et coût d'écrtage de point ;
- Frais de fonctionnement ou frais généraux : à titre d'exemple l'énergie consommé lors des interventions de maintenance.

II.7.2 Coûts indirect liés à l'indisponibilité

Les coûts indirects intègrent toutes les conséquences économiques induites par un arrêt propre d'un équipement de production [8]. Nous appelons encore coûts d'indisponibilité, coût de pertes de production ou coût de non maintenance. Ils prennent en compte plusieurs critères :

- Pénalités commerciales ou coûts induits pour délais non tenus : elles sont généralement incluses dans le contrat de vente et se chiffrent en francs par jours de retard ;
- Les coûts de perte de production constituent un des postes essentiels de ces coûts indirect, représentent les pertes dues à l'arrêt de production ;
- Pertes de matière première : généralement c'est la matière brute qui entre dans une chaîne et qui ne sort pas ou devient sous forme de déchets ;
- Main d'œuvre inoccupé : ces les rémunérations versées aux employés inactifs lors des actions de maintenance ;
- Charges financières correspondant à la valeur des équipements de maintenance (amortissement outillage, véhicule, etc.).

II.8 Différentes politiques de maintenance existantes

Il s'agit de proposer un critère d'évaluer, chacune des politiques de maintenance ajustables par la détermination de l'instant de remplacement. La démarche retenue consiste à agréger au

sein d'une même fonction les aspects de coûts de maintenance, de diagnostic et de disponibilité. Cela revient alors à combiner les utilités obtenues à chaque instant t de manière à obtenir un résultat sur un horizon temporel de remplacement T . Nous différencions deux grandes familles celles des mono-composant et des multi-composant.

II.8.1 Politiques de maintenance pour les système mono-composants

Nous pouvons qualifier par système élémentaire font partie généralement des pièces détachées destinées à remplacer les composants défailants. Dans ces conditions une machine constituées de plusieurs sous-ensembles technologiques indépendants (un moteur électrique dans un convoyeur, un vérin dans une presse hydraulique, etc.) ayant chacun des modes de défaillances particuliers, cet ensemble définit ce qu'on nomme un groupe fonctionnel, de façon à accomplir une fonction spécifique [10]. L'hypothèse commune pour ces politiques réside dans le faite que l'intensité de défaillance est considérée croissante.

II.8.1.1 Politique de maintenance selon l'âge

La stratégie de maintenance de type âge consiste à faire un remplacement préventif seulement lorsque l'équipement atteint l'âge T soit la période de remplacement préventif choisie. La durée de remplacement T est déterminée de façon à effectuer un remplacement préventif un peu avant le moment où on estime que l'équipement risque de tomber en panne. Toutefois, si une panne survient avant l'âge T , un remplacement correctif est effectué [30]. La figure. II. 10 présente un schéma des séquences des événements dans cette stratégie.

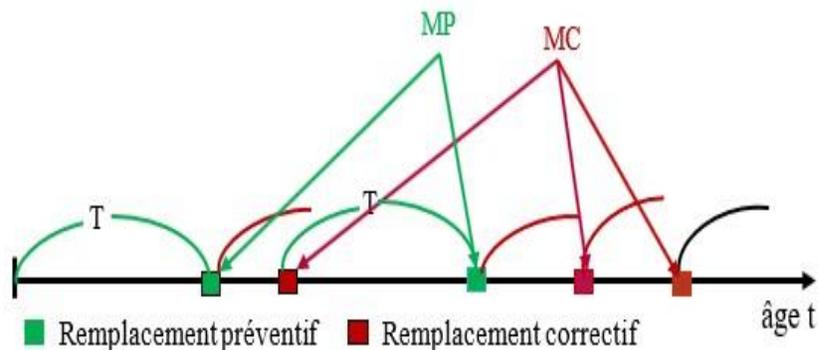


Fig. II. 9 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge.

◆ Modélisation mathématique

Nous pouvons alors facilement évaluer le coût total moyen de maintenance par unité de temps sur un horizon infini, $E(AC)$, peut être exprimé comme suit

$$E(AC) = \frac{E(c)}{E(T)} \quad (\text{II.9})$$

Où : le numérateur ($E(c)$) représente l'espérance du coût total du cycle de renouvellement du système qui englobe les coûts d'inspection, les coûts des remplacements préventifs et correctifs. D'autre part, le dénominateur ($E(T)$) représente l'espérance de la longueur du cycle.

L'espérance du coût total moyen de maintenance $E(c)$, s'exprime par l'expression suivante :

$$E(c) = C_p R(T) + [1 - R(T)]C_c \quad (\text{II.10})$$

Avec :

$[1 - R(T)]C_c$: est le coût de remplacement éventuel dû à une défaillance de la pièce pendant la durée T (coût d'une réparation minimale).

$C_p R(T)$: est le coût d'opération préventif périodique (coût d'une révision partielle)

La durée moyenne du cycle de renouvellement, $E(T)$, elle est exprimée sous la forme :

$$E(T) = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (\text{II.11})$$

Enfin, L'espérance du coût de maintenance par unité de temps notée C s'écrit sous la formule (II.12)

$$C(T) = \frac{C_p R(T) + [1 - R(T)]C_c}{\int_0^T R(t) dt} \quad (\text{II.12})$$

La stratégie optimale est définie par la détermination de l'âge de remplacement préventif T^* qui minimise le coût total moyen par unité de temps qui correspond au minimum de l'équation $C(T)$. Ainsi, dans cette politique le système reçoit des remplacements préventifs et correctifs utilisant des équipements (pièce de rechange) neufs, par conséquent, dans ce cas l'âge réel de l'équipement est remis à zéro.

II.8.1.2 Politique de maintenance en bloc

Appelé aussi politique de maintenance préventive périodique, elle tire son nom de la politique courante consistant à remplacer un bloc ou un groupe d'unités dans un système à l'instant prescrits. De ce fait, la stratégie de maintenance de type bloc consiste à faire un remplacement correctif de composants à la défaillance, ou un remplacement préventif à des

intervalles de temps prédéterminés KT ($K = 1,2,3, \dots$) indépendamment de l'historique des pannes et de leur âge, et réparé à la défaillance intermédiaire où T est une constante [31].

◆ Modélisation mathématique

L'équation (II.13) représente la fonction de l'espérance du coût de maintenance par unité de temps correspondante à ce modèle, sa fonction objective est écrite sous la forme :

$$C(T) = \frac{C_c H(T) + C_p}{T} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

$$H(T) = \int_0^T \lambda(t) dt \quad (\text{II.14})$$

D'où : $H(T)$ représente le taux de hasard cumulé et $\lambda(t)$ est appelé aussi taux d'occurrence de défaillance. Dans ce cas, la figure. II. 11 montre clairement le principe de la politique de maintenance en bloc

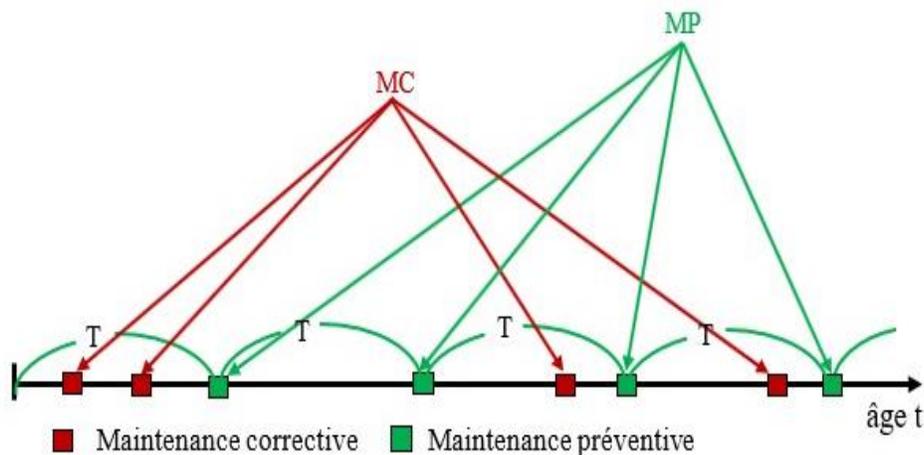


Fig. II. 10 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance en bloc.

II.8.1.3 Politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance

Cette politique est considérée l'un des politiques les plus réalistes de systèmes réparables, elle consiste à remplacer périodiquement l'équipement. Généralement, en cas de panne une réparation minimale est effectuée, ce renouvellement n'a pas d'impact sur l'évolution du taux de défaillance du système. De ce fait, le matériel est dans un état aussi mauvais qu'avant d'entreprendre l'action de maintenance. D'une façon particulière, cette politique est une fonction complémentaire de la politique de maintenance en bloc du fait que ces actions de

maintenance sont imparfaites, les périodicités (T) représentent les instants de MP imparfaites et le système n'est renouvelé qu'après avoir fonctionné un certain temps KT avec $K = 1,2,3 \dots$ [32].

II.8.1.4 Politique de maintenance basée sur la limitation du taux de défaillance

Cette politique suggère que l'action de maintenance préventive n'est effectuée que lorsque le taux de défaillance ou les indices de fiabilité d'un composant atteignent un niveau prédéterminé, en cas de panne les actions de maintenance corrective sont intervenantes afin de garantir l'état de bon fonctionnement de l'outil de production. La présente politique permet à un composant élémentaire de fonctionner au niveau minimum de fiabilité acceptable [33].

II.8.1.5 Politique de maintenance préventive séquentielle

Dans cette politique, les interventions de maintenance préventive sont exécutées à des intervalles de temps inégaux et qui deviennent de plus en plus petits au cours de temps. En effet, quand l'âge de système augmente, le matériel de production nécessite plus d'action de maintenance. Contrairement à la politique de type bloc où le système est remplacé à une périodicité fixe et lors de chaque panne [34].

II.8.1.6 Politique de maintenance basée sur la limitation de la durée des actions de maintenance

La politique de limite à la réparation regroupe les deux politiques suivantes :

◆ Politique de coût limite de réparation

La politique de maintenance basée sur la limitation du coût de réparation consiste à prendre les décisions selon le coût estimé d'une action de réparation. En effet, lorsqu'un système de production tombe en panne, un coût de réparation est estimé par l'entreprise. Si ce coût de réparation ne dépasse pas une limite prédéterminée, une action de réparation sera effectuée sinon le système sera remplacé [35].

◆ Politique de temps limite de réparation

Comme son nom l'indique, cette politique dépend entièrement du temps consacré aux actions de réparation, si ce dernier dépasse une certaine période, l'action est annulée et le système est remplacé par un neuf.

II.8.2 Politiques de maintenance pour les systèmes multi-composants

Les politiques de maintenance des systèmes multi-composants se distinguent de celles des systèmes mono-composants par les différentes dépendances entre les sous-systèmes qui s'étalent sur plusieurs horizons, les actions de maintenance des systèmes multi-composants font appel à une précision et à de larges connaissances de plus que celles des mono-composant.

Dans le cas du complexe Cevital, les dépendances inter composants ne sont pas présentes c'est pour cela que nous pouvons appliquer les politiques de maintenances de celles de mono-composant.

II.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons fait une étude approfondie sur les modèles de maintenance existants dans la littérature. Par la suite, nous avons présentés les différents coûts relatifs aux actions de maintenance, la définition des politiques de maintenance mono-composant et aussi multi-composants. C'est pour cela d'ailleurs, ces politiques répondent de manière très satisfaisante aux contraintes de l'entreprise. Nous avons souligné la nécessité de bien organiser les tâches de maintenance dans le temps pour répondre aux mieux à des exigences d'utilisation d'un système prédéfinies, par la suite nous avons constaté que de très nombreux modèles les plus fréquents comprennent la maintenance imparfaite ont été proposés pour classifier et comparé les principales politiques de maintenance existantes. Ces dernières sont censées modéliser l'impact de l'efficacité des interventions de maintenance sur la fiabilité des matériels.

Chapitre III :

Description Du Fonctionnement Des Systèmes Existants

Chapitre.III Description du fonctionnement des systèmes existants

III.1 Introduction

Le stage pratique effectué au niveau du complexe Cevital est une expérience bénéfique qui nous a permis de côtoyer le milieu industriel et d'acquérir une discipline professionnelle.

Le présent chapitre, s'articulera autour de deux volets principaux : En premier lieu, nous présenterons les compresseurs de type GA, la seconde partie évoquera le cadre général sur les convoyeurs à bonde TB-13 et ses différentes typologies, ainsi le service électrique est chargé de la maintenance afin de réparer les anomalies électriques signalées, programmées et planifiées par le service méthode. Pour cela, nous allons décrire le processus industriel de chaque service ainsi que son mode de fonctionnement.

III.2 Equipements à étudier

L'entreprise agro-alimentaire Cevital de Bejaïa touche plusieurs secteurs d'activités, d'une part, ces activités nécessitent l'utilisation de l'air comprimé qui sert au fonctionnement des différentes machines. La production de cette énergie au niveau du complexe Cevital est assurée par des compresseurs. Dans ce contexte, les compresseurs de type GA de marque ATLAS-COPCO définissent clairement notre objectif d'étude. D'autre part, nous allons présenter un convoyeur à bonde qui est un mécanisme essentiel dans l'entreprise, c'est un système de manutention automatique qui permet de déplacer des produit finis ou bruts d'un poste à un autre par le mécanisme de transmission de puissance. Pour atteindre l'objectif de notre étude, nous avons commencé par prendre connaissance sur les transporteurs à bonde et leurs installations, ainsi que l'identification des différents éléments du système, ce qui nous permettra de faire face à notre problématique.

III.2.1 Compresseurs

III.2.1.1 Définition d'un compresseur

Les compresseurs sont des machines qui aspirent l'air ambiant à basse pression afin de réduire le volume et d'augmenter la pression à de haut niveau à l'aide des moyens mécaniques avec une puissance nominal qui peut être très importante (Fig. III .1) [36].

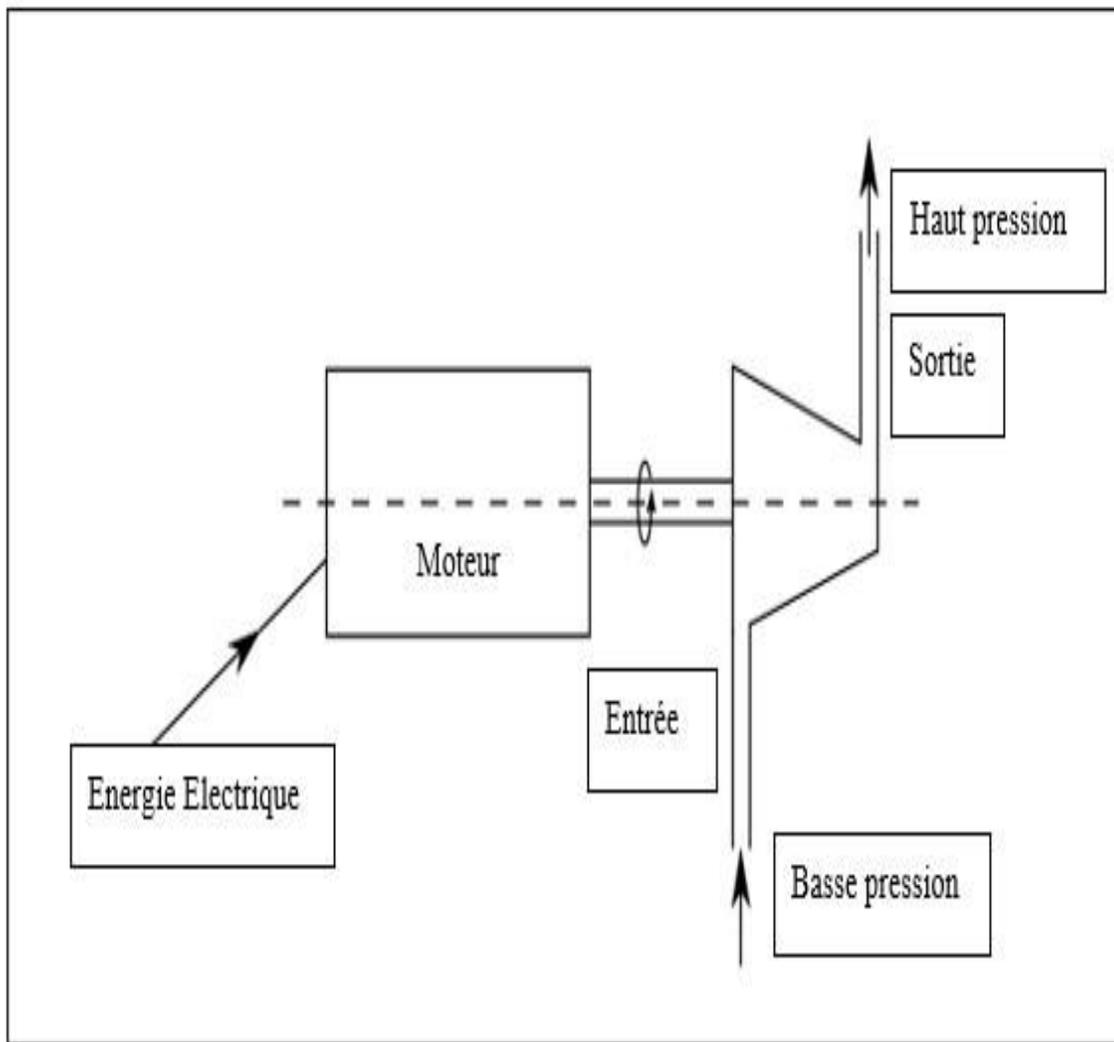


Fig. III. 1 : Schéma résume le principe de fonctionnement d'un compresseur.

III.2.1.2 Classifications des compresseurs

Il existe deux classes de compresseurs : Les compresseurs volumétriques qui peuvent être des compresseurs alternatifs ou rotatifs, et les turbocompresseurs ou ce qu'on appelle les compresseurs dynamiques qui sont soit centrifuges ou axiaux (Fig. III.2).

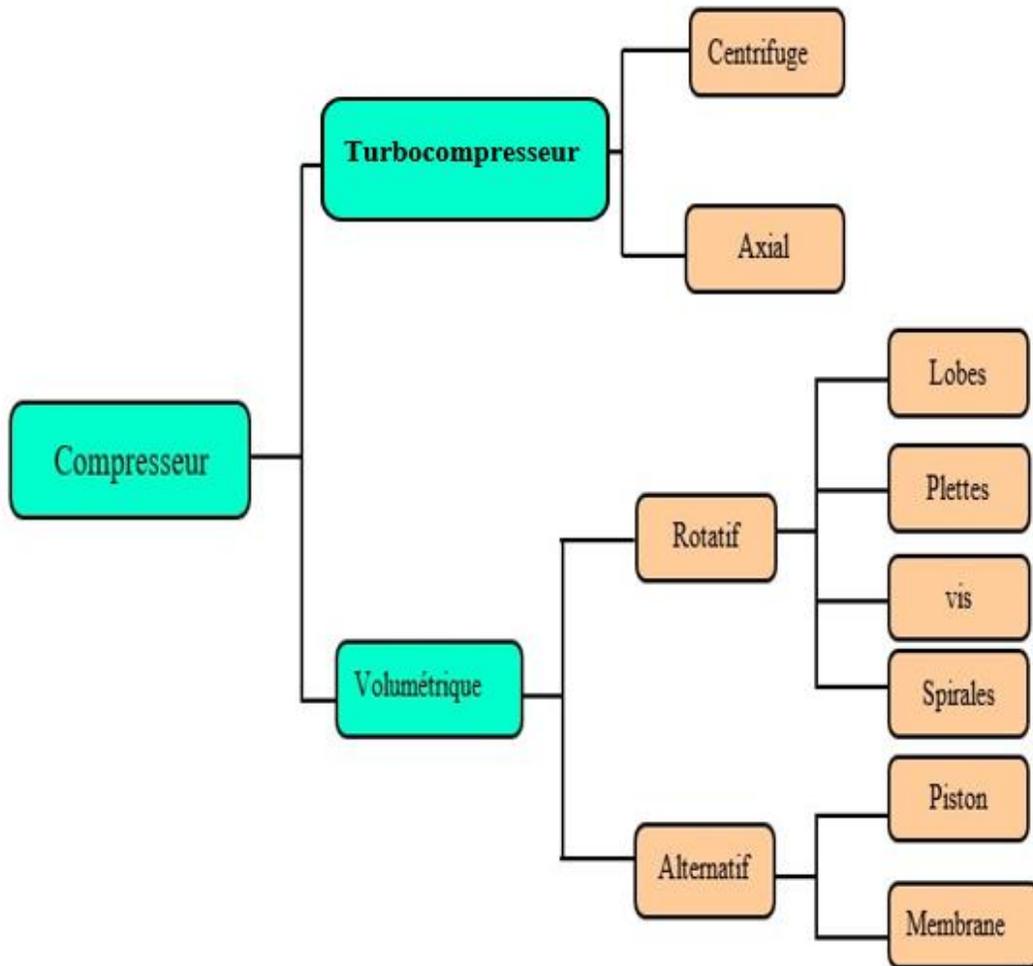


Fig. III. 2 : Classification des compresseurs.

III.2.1.3 Étude d'un compresseur d'air GA

Il s'agit d'un compresseur rotatif à vis GA de marque Atlas Copco, mono étage, à injection d'huile, et entraînés par un moteur électrique, ce dernier raccordé par l'intermédiaire de l'accouplement au bloc de compression, contrôlé par un pressostat de régulation, qui arrête le compresseur à la pression maximale pré réglée, et le redémarre à pression maximale. Le refroidissement est assuré par l'air. Ces compresseurs sont enfermés dans un capotage insonorisant.



Fig. III. 3 : Photo réelle d'un compresseur à vis.

Habituellement, leur conception est basée sur deux vis hélicoïdales qui sont situés dans un carter, l'une mâle et l'autre femelle sont accouplés et engrainés ensemble, Également appelées « rotors », chacune de ces derniers présente une forme différente et un nombre différent de dents (Fig. III. 4). Essentiellement, ces deux rotors sont utilisés pour prendre l'air d'admission et le comprimer.

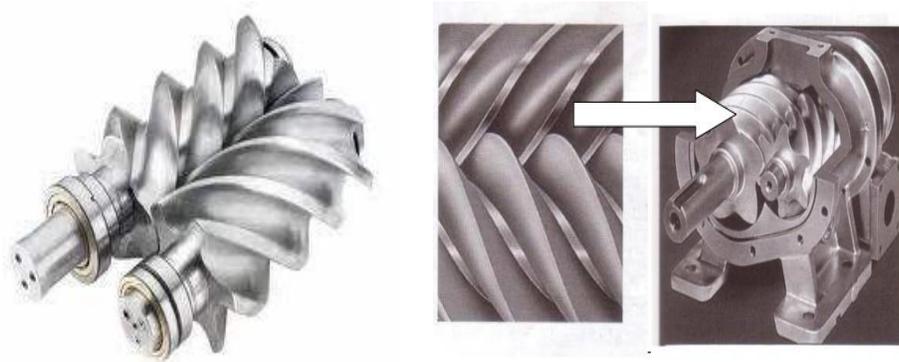


Fig. III. 4 : Engrènement de deux vis d'un compresseur.

III.2.1.4 Caractéristiques du compresseur

Les compresseurs GA 90+ et GA 110 à GA 160 sont des compresseurs refroidis par air, ces caractéristiques sont présentées ci-dessous, dans le tableau. III. 1.

Tab. III. 1 : Caractéristique du compresseur à vis Atlas Copco GA-160

Débit d'air comprimé (Nm ³ / min)	Plage de variation de la pression (bar)	Puissance utile du moteur (kW)	Fréquence (Hz)
32,76	6.2 - 7.1	37	50 - 60

III.2.1.5 Principe de fonctionnement

Pendant la mise en marche du moteur électrique, l'arbre de moteur, se met en mouvement de rotation, qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique vers l'arbre de la vis sans fin mâle par l'intermédiaire d'un accouplement. Cette rotation assure la rotation de la vis sans fin femelle, qui tourne contrairement à la rotation de la vis sans fin mâle. Ce mouvement aspire l'air atmosphérique par l'orifice d'aspiration dans les spires de rotors ouverts du côté aspiration. La rotation progressive des rotors provoque la fermeture de l'orifice d'admission d'air, dans ce cas le volume est réduit par contre la pression monte, puis le refoule vers le réservoir séparateur air/huile (huile est injectée lors de ce processus). En évacuation, la compression est terminée, la pression finale est atteinte, le refoulement commence vers le réservoir à partir d'un sécheur réfrigérant. Le guidage en rotation des vis sans fin est assuré par des roulements, et aussi les paliers, dans le but de faciliter la rotation et diminuer les frottements. Bien que le cycle de fonctionnement soit assuré par trois transformations qui sont illustrées dans le tableau. III. 2.

Tab. III. 2 : Principe du fonctionnement de deux vis de compresseur.

Phase	Principe	Description
1 ^{ère} phase 	Aspiration	L'air entre par l'orifice d'aspiration, dans les spires rotors ouverts du côté aspiration
2 ^{ème} phase 	Compression	La rotation progressive des rotors provoque la fermeture de l'orifice d'admission d'air, le volume est réduit et la pression monte, dans ce processus l'huile est injectée.
3 ^{ème} phase 	Refoulement	La compression est terminée, la pression finale est atteinte, le refoulement commence

III.2.1.6 Différents composants de compresseur

La figure sous-présentée illustre d'une manière plus claire ce que constitue un compresseur à air.

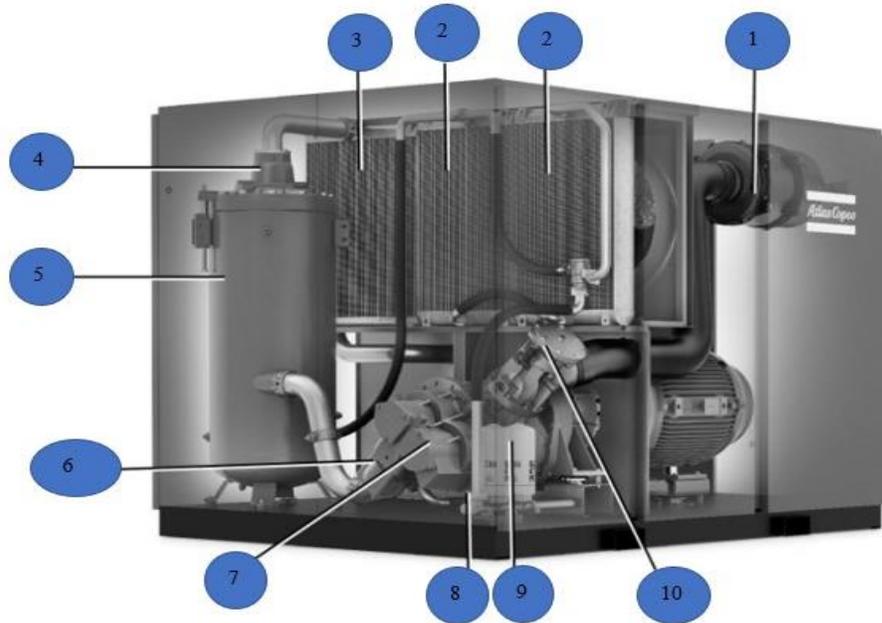


Fig. III. 5 : Différents composants d'un compresseur à vis de type ATLAS COPCO.

Le tableau ci-dessous représente les différents composants d'un compresseur à vis.

Tab. III. 3 : Signification des composants de compresseur à vis ATLAS COPCO.

Numéro d'un composant	Le composant	Signification
1	AF	Filtre à air
2	Co	Refroidisseur de l'huile
3	Ca	Refroidisseur d'air
4	Vp	Soupape
5	AR	Réservoir d'air / séparateur d'huile
6	CV	Clapet anti-retour d'air
	Vs	Clapet d'arrêt d'huile
7	E	Élément de sortie
8	Bv	Vanne
9	OF	Filtre d'huile
10	UA	Déchargeur

III.2.1.7 Cycle de production de l'air comprimé

◆ Description le circuit d'air

L'air aspiré via le filtre (AF) et la vanne d'entrée (IV) du déchargeur est comprimé dans l'élément compresseur (E). Un mélange d'air comprimé et d'huile s'écoule dans le réservoir d'air/séparateur d'huile (AR) via le clapet anti-retour (CV). L'air est refoulé à travers la vanne

de sortie (*AV*) à travers la soupape à minimum de pression (*Vp*) et le refroidisseur d'air (*Ca*). Le refroidisseur d'air comprend un séparateur d'eau (*MT*).

Sur les compresseur ATLAS COPCO GA, l'air passe à travers le sécheur d'air (*DR*) avant d'être refoulé par la vanne de sortie (*AV*). Voir également la section sécheur d'air.

Dans tous les cas, la soupape à minimum de pression (*Vp*) maintient la pression dans le réservoir du séparateur (*AR*) au-dessus de la valeur minimum nécessaire à la lubrification. Un clapet anti-retour intégré empêche l'air comprimé en aval de la soupape d'être libéré dans l'atmosphère pendant la marche en décharge. Lorsque le compresseur est arrêté, le clapet anti-retour (*Cv*) et la vanne d'entrée (*IV*) se ferment, empêchant ainsi l'air comprimé et l'huile d'être libérés dans le filtre à air.

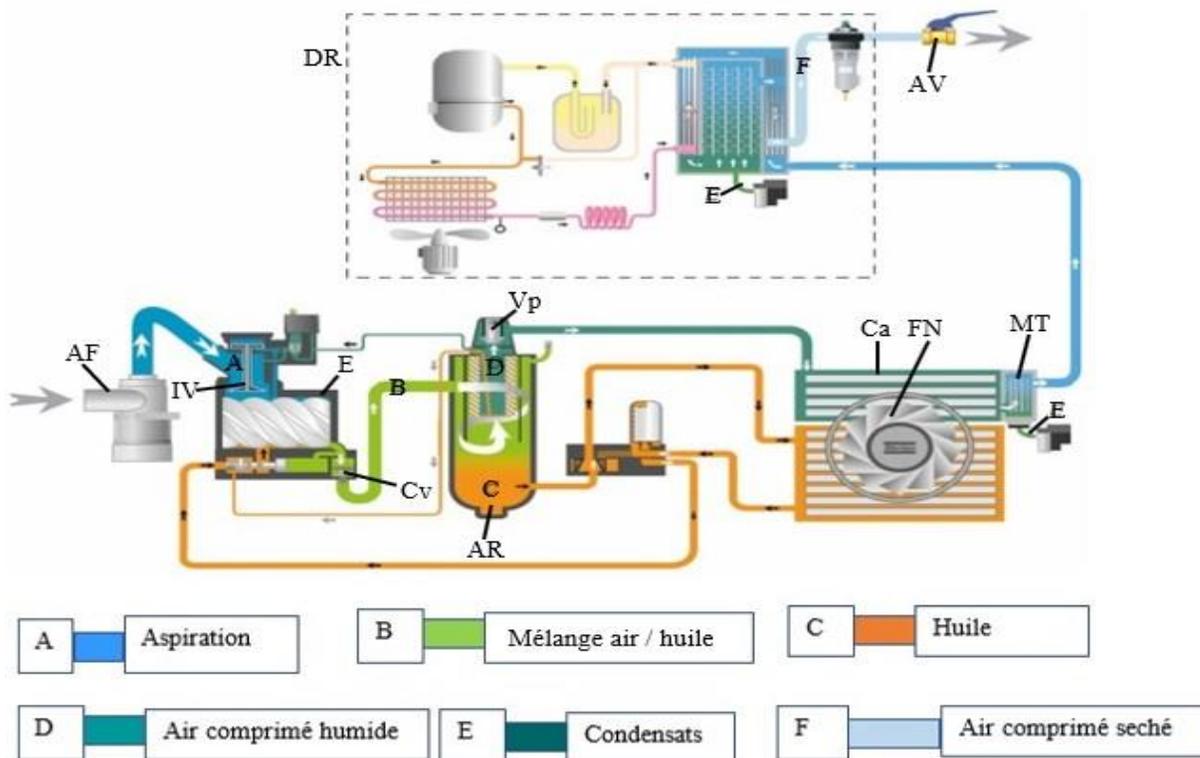


Fig. III. 6 : Cycle de production de l'air comprimé.

◆ Description le circuit d'huile

Dans le réservoir d'air/séparateur d'huile (*AR*), la majeure partie de l'huile est éliminée du mélange air/huile (*B*) par centrifugation. L'huile restante est éliminée par le séparateur d'huile d'huile. L'huile est recueillie dans la partie inférieure du réservoir d'air/séparateur d'huile (*AR*), qui sert de réservoir d'huile.

Le circuit d'huile est prouvé d'une vanne de dérivation thermostatique(Bv). Si la température d'huile est inférieure au point de consigne, la vanne de dérivation (Bv) coupe l'alimentation du refroidisseur d'huile (Co) et le sécheur d'huile est contourné.

À partir de réservoir d'air/séparateur d'huile(AR), la pression d'air véhicule l'huile à travers le filtre à huile (OF) et le clapet d'arrêt d'huile (Vs) pour atteindre l'élément compresseur (E).

Dès que la température d'huile atteint le point de consigne, la vanne de dérivation (Bv) commence à ouvrir l'arrivée d'huile vers le refroidisseur (Co). À environ $15^{\circ}C$ au-dessus du point de consigne, toute l'huile passe par le refroidisseur d'huile.

Le clapet d'arrêt d'huile(Vs) empêche la submersion par l'huile de l'élément compresseur lors de l'arrêt du compresseur. Le clapet s'ouvre par la pression de sortie de l'élément lors du démarrage du compresseur.

À partir du schéma fournit par le constructeur (Fig. III .6) nous pouvons comprendre le fonctionnement du compresseur et le rôle que jouent ces différents composants.

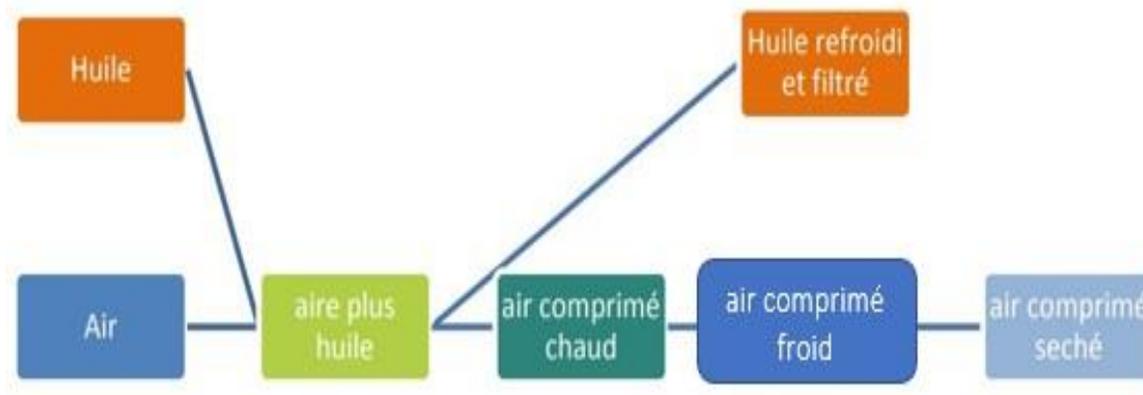


Fig. III. 7 : Changement subit par l'air dans le compresseur.

III.2.1.8 Utilité d'air comprimé

L'utilité de l'air comprimé dans l'industrie est destinée au fonctionnement des systèmes pneumatique, pour que ces derniers les transforment en énergie mécanique qui sera généralement utile pour les différents mouvements (pousser, tirer, tourner, percuter...), sert aussi à alimenter les différents pré-actionneurs tels que les distributeurs ou les actionneurs comme les vérins, au niveau des lignes de production à l'aide des vannes et moteurs pneumatiques.

III.2.1.9 Plan de maintenance sur les compresseurs

Tous les équipements de production doivent être maintenu afin de garantir un rendement optimal et une durée de vie raisonnable. Cette partie est consacrée aux actions de maintenance de l'équipement réalisé. Nous avons relevé les données réelles du compresseur à vis utilisée dans les stations de compression à l'unité opérationnelle maintenance, grâce à un stage pratique à CEVITAL. Comme le montre le tableau ci-dessus.

Tab. III. 4 : Opération de maintenance sur le compresseur ATLAS COPCO

Périodicité	Heure de marche	Opération de maintenance
Journalier		Effectuer une vérification visuelle et acoustique sur le compresseur
Chaque semaine		Vérifier le niveau d'huile du compresseur
		Vérifier le robinet de vidange
		Purger la condensat
		Vérifie la natte filtrante de l'armoire électrique, nettoyez ou changez
Mensuel	(Ou 250 heures de fonctionnement machine)	Nettoyage le refroidisseur d'air
		Nettoyage le refroidisseur d'huile
		Nettoyage filtre à air
		Nettoyer le réfrigérant en le soufflant
		Vérifier les refroidisseurs (<i>Ca et Co</i>)
Semestriel	3000 h de fonctionnement	Changement de filtre à huile
		Changement de filtre à air
		Contrôle de l'accouplement
		Vérifier les connexions électriques
	6000 h de fonctionnement	Changement de la cartouche séparatrice (remplacer les filtres à huile)
		Changement d'huile de lubrification recommandée par ATLAS COPCO
		Graissage le roulement du moteur du compresseur
Annuel	12000 h de fonctionnement	Changement soupape minimum de pression (<i>Vp</i>)
		Changement vanne de décharge (<i>AV</i>)
	24000 h de fonctionnement	Révision bloc vis
		Changer les roulements du moteur ventilateur
		Changer les roulements du moteur du compresseur

III.2.2 Convoyeurs

III.2.2.1 Définition

Le convoyeur est un système de manutention automatique qui permet de déplacer des produits finis ou bruts d'un poste à un autre par le mécanisme de transmission de puissance. Cette dernière est transmise d'un arbre moteur vers un ou plusieurs arbres récepteurs par l'intermédiaire de courroies ou de chaînes [37].

III.2.2.2 Types des convoyeurs

Il existe un grand nombre de convoyeurs différents, chacun présentant des caractéristiques similaires et spécifiques aux charges qu'ils transportent. Nous pouvons distinguer plusieurs sortes de transporteurs les plus courants sont : Convoyeurs à chaîne, convoyeurs magnétiques, Convoyeurs aériens, convoyeur à rouleaux, Convoyeur à vis sans fin, et les convoyeurs à bande, ce dernier fait l'objet de notre étude.

III.2.2.3 Convoyeurs à bande à étudier

Notre travail consiste justement à l'étude d'un convoyeur à bande qui était déjà opérationnel au niveau des installations de production de l'entreprise agroalimentaire (CEVITAL). Dans notre cas, à l'arrivée du navire à quai, la matière première est acheminée sur des transporteurs à bande, l'une des installations les plus performantes ou la matière première est transférée jusqu'à l'entrepôt de stockage de l'entreprise. Puis de la même manière, elle sera transportée vers le Silo où se fera le raffinage de sucre. Une fois le sucre est prêt, le produit fini sera stocké l'entrepôt dans l'attente d'une expédition.



Fig. III. 8 : Photo réelle d'un transporteur à bande

Les convoyeurs à bande présentent plusieurs avantages tels que :

- réduction de la consommation d'énergie,
- longs intervalles entre les périodes de maintenance
- indépendance du système par rapport à son environnement

- réduction des coûts d'exploitation

III.2.2.4 Composants du convoyeur et leurs dénominations

Les principaux éléments d'un convoyeur à bande sont illustrés sur la figure. III .9.

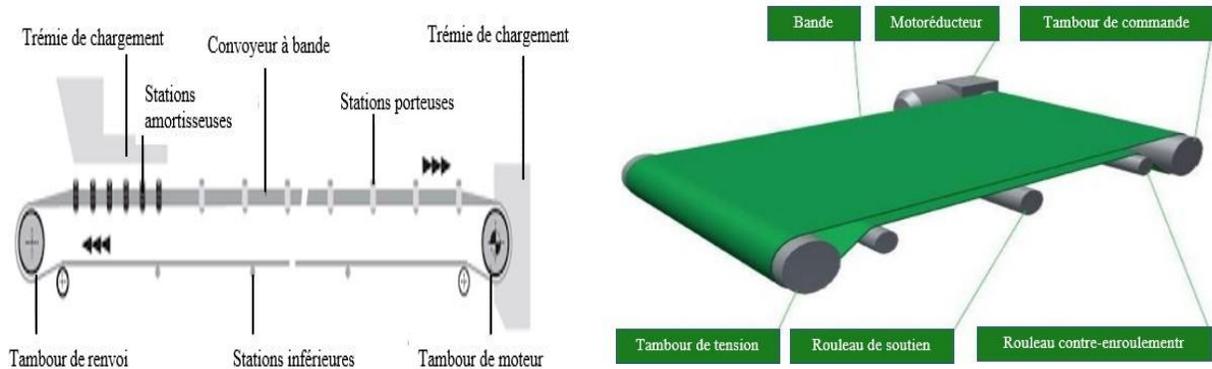


Fig. III. 9 : Schéma de principe d'un convoyeur à bande.

Les convoyeurs à bande sont caractérisés par le type de bande transporteuse utilisée (matériaux, texture, épaisseur). Dans tous les cas, un convoyeur à bande se compose :

A. Bande

Elle permet de transporter la matière de la queue jusqu'à la tête du convoyeur à bande. Elle se présente sous deux formes principales, plat et en auge, toute bande comporte deux faces:

- La face externe, qui est en contact avec les matériaux transportés.
- La face interne, qui est en contact avec les rouleaux ou les tambours.



Fig. III. 10 : Photo réelle d'une bande transporteuse d'un convoyeur

La bande transporteuse est mise en rotation par un système d'entraînement qui est composé du motoréducteur, du tambour d'entraînement, de clavette et de deux paliers dans lesquels sont montés des roulements.

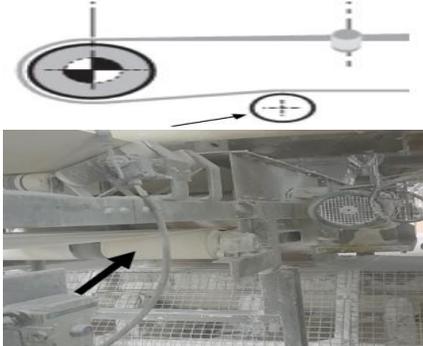
B. Tambours

Ils entraînent la bande ou l'amènent à changer de direction, Les tambours sont dimensionnés en fonction des caractéristiques de chaque convoyeur et selon leur emplacement. L'alignement des tambours a une importance capitale sur le centrage de la bande. Le schéma de la figure. III. 11 récapitule les types de tambours existants, étant numérotés et décrits selon leur fonction et leur position sur le transporteur (voir tab III. 3).



Fig. III. 11 : Présentation des différents tambours du convoyeur

Tab. III. 5 : Types des tambours

Références	Désignation	Description
1	Tambour de commande (moteur) 	Tambour équipé de la motorisation du convoyeur à bande (tambour moteur) permettant l'entraînement de la bande.
2	Tambour de renvoi 	Tambour non moteur où la bande s'enroule pour revenir vers la tête motrice.
3	Tambours de contrainte 	Tambour placé en tête de convoyeur sous le tambour d'entraînement et permettant d'augmenter l'arc d'enroulement.

C. Rouleaux

Les rouleaux soutiennent la bande et tournent librement et facilement sous la charge. Ce sont les composants les plus importants du convoyeur et ils représentent une part considérable de l'investissement total. Il est fondamental de les dimensionner correctement pour garantir les performances de l'installation et l'exploitation économique.

◆ Stations porteuse en auge

Les rouleaux porteurs sont généralement fixés sur des pattes de fixation soudées à une traverse ou un support. L'angle d'inclinaison des rouleaux latéraux varie entre 20° et 45° .

◆ Stations supports inférieures

Les stations-supports inférieures peuvent comporter un seul rouleaux sur toute largeur ou bien deux rouleaux formant un "v" et inclinés à 10° .

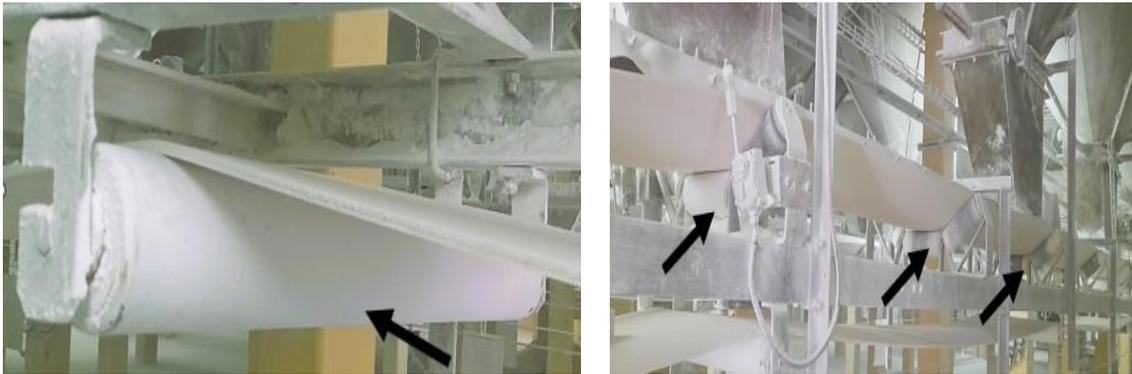


Fig. III. 12 : Rouleaux station inférieure et supérieure

D. Capots pour convoyeur

Les capots ont une importance fondamentale lorsqu'il est nécessaire de protéger le produit transporté de l'air ambiant et d'assurer le bon fonctionnement de l'installation.

E. Trémie

La trémie est conçue pour faciliter le chargement et le glissement du produit en absorbant les chocs de la charge en évitant les colmatages et l'endommagement de la bande. Elle permet un chargement immédiat du produit et résout les problèmes d'accumulation.

F. Motoréducteur

Un motoréducteur triphasé est une combinaison entre moteur asynchrone triphasé et d'un réducteur mécanique de vitesse, Ce derniers assure la translation de tapis. Dans cette

configuration, le moteur, la boîte d'engrenages et les roulement constituent un ensemble complet, enfermé et protégé à l'intérieur d'un carter, qui entraîne directement la bande.

G. Châssis

Le châssis est la partie en métal sur laquelle s'installent les stations support du convoyeur, elle est généralement fixée sur le sol.

III.2.2.5 Principe de fonctionnement

Lors de notre stage au sein de cevital nous avons étudié le fonctionnement du convoyeur à bande de raffinage de sucre. Le principe consiste à mettre en mouvement une bande transporteuse sur une sole de glissement. Cette bande est entraînée par un tambour, Cette dernière est transmise d'un arbre moteur vers un ou plusieurs arbres récepteurs par l'intermédiaire de courroies ou de chaînes. La vitesse de déplacement est relative à la vitesse de rotation du moteur et peut être réduite ou augmentée selon la volonté de l'opérateur en tenant compte de quelques paramètres tels que la productivité. La figure. III. 15 présente le principe de fonctionnement d'un transporteur à bande.

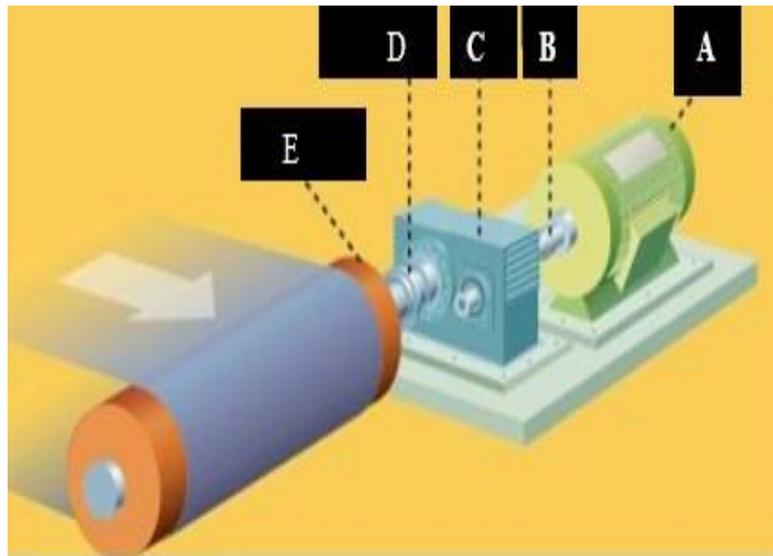


Fig. III. 13 : Système de transmission d'énergie

Tab. III. 6 : Signification des éléments d'un convoyeur à bande de transmission d'énergie

Référence	Son indication
A	Moteur asynchrone
B	Accouplement du moteur et du réducteur
C	Réducteur
D	Accouplement du réducteur et du tambour d'entraînement
E	Tambour d'entraînement

Le rôle du convoyeur est donc de remplacer le travail de l'ouvrier qui trouve beaucoup de peine à accomplir ses tâches, fournissant un déplacement beaucoup plus rapide du produit influençant directement sur la productivité.

III.2.2.6 Opération de maintenance sur les convoyeurs à band

Le plan d'entretien périodique du convoyeur à bande assuré par l'opérateur de l'entreprise CEVITAL est inclus dans le tableau ci-après :

Tab. III. 7 : Plan de maintenance d'un convoyeur à bande TB-13

Périodicité	Opération de maintenance
Journalier	Vérification de l'état de la bande transporteuse, s'il n'a pas de débordement
	Bonne marche du moteur, pas de fluctuations de vitesse de rotation, pas de niveau de bruit élevé
	Pas de fortes vibrations
	Pas de perte d'huile
Après chaque déchargement navire	Nettoyer toute l'instrumentation (déport de bande, bourrage, contrôleur de rotation, arrêt d'urgence)
	Nettoyer l'ensemble bande, tambours, rouleaux supérieur et inférieur et charpente
	Nettoyer le jeté du transporteur
	Contrôler le niveau d'huile des réducteurs
	Vérifier l'étanchéité des coffrets électriques et des boîtes de dérivation,
	Examiner le moteur et nettoyer les voies de passage de l'air de refroidissement
Après trois mois de fonctionnement	Vérifier l'alignement du groupe de commande
	Contrôler que les branchements électriques et les vis sont bien serrées
	Vérifier qu'il n'y a pas de trace d'oxydation sur les cosses de connexion électrique
	Relever les valeurs d'intensité de moteur à vide et en charge
	Lubrifier les réducteurs
	Vérifier l'état de la bande
	Démonter, nettoyer, remonter et graisser tous les paliers (pied, tête, contrainte).

III.3 Conclusion

Dance ce chapitre, nous avons présenté le compresseur rotatif à vis GA de marque ATLAS COPCO et le convoyeur à bande TB-13. La description des éléments de chaque équipement, nous a permis d'avoir une idée claire sur les caractéristiques techniques, ses principaux organes de construction, et leurs domaines d'utilisations. Ainsi que le rôle de chaque constituant dans le cycle de production. Cette connaissance, nous a permet de connaître le rôle de chaque élément dans les deux mécanismes, dans le but de nous assurer la langue durée de vie de ses composants, d'éviter les risques de défaillance et aussi d'avoir un bon rendement dans des conditions stables et efficaces, à fin d'assurer un véritable environnement de travail.

D'un point de vue générale, la connaissance des techniques d'acheminements des produits est une nécessité pour offrir un service de qualité avec un rendement meilleur, afin d'atteindre un transfert économique optimal de façon que toutes les conditions soient remplies.

Chapitre IV :

**Application et
comparaison entre les
politiques de maintenance**

Chapitre.IV Applications et comparaison entre les politiques de maintenance

IV.1 Introduction

L'efficacité de la maintenance des systèmes industriels est un enjeu économique majeur pour leur exploitation commerciale. De ce fait, un mauvais choix d'actions peut conduire à une maintenance non satisfaisante et à un surcoût dû à la détérioration du système. Par conséquent, l'optimisation de la maintenance consiste à réduire la durée de renouvellement du système complexe, en minimisant la durée des interventions et le nombre d'actions de maintenance.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une étude comparative entre la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance en bloc, dans le but de mettre en place un modèle de maintenance plus adéquat pour une unité opérationnelle maintenance. Afin de montrer l'avantage de notre étude, nous illustrons notre travail par une méthodologie sur les deux cas d'applications proposés par le responsable de maintenance qui sont : compresseur Atlas Copco GA et convoyeur à bande TB-13, suite à des données provenant d'un historique des équipements fourni par Cevital.

IV.2 Estimation des coûts

IV.2.1 Estimation des coûts de main d'œuvre par heure

Le tableau. IV. 1 récapitule l'estimation des coûts de main d'œuvre par heure pour un ingénieur et un technicien en maintenance (TS).

Tab. IV. 1 : Estimation des coûts de main d'œuvre par heure.

Main d'œuvre	Ingénieur	Technicien en maintenance (TS)
Coût de main d'œuvre par heure (DA/h)	400,00	307,00

IV.2.2 Coût d'une intervention par heure

Le tableau. IV. 2 représente les coûts des actions de maintenance horaires au sein de l'entreprise Cevital, chaque poste est rémunéré selon la tâche qu'il effectue :

Le coût d'une intervention préventive de maintenance est la somme des coûts de main d'œuvre (ingénieur électrique ou mécanique + technicien en maintenance) selon la nature de la panne ou du dispositif à analyser qui est égale à **707.00 DA/h**.

Le coût d'une intervention corrective de maintenance est la somme des coûts de main d'œuvre (ingénieur électrique + ingénieur mécanique + technicien en maintenance), car la majorité des appareils comportent une partie électrique et une autre mécanique qui est égale à **1107.00 DA/h**.

Tab. IV. 2 : Coût d'une intervention de maintenance par heure.

Coût d'opération (DA/h)	Préventive	Corrective
	Main d'œuvre	
Technicien en maintenance (TS)	307.00	307.00
Ingénieur mécanicien	400 .00	400.00
Ingénieur électricien		400.00
Total	707.00	1107.00

IV.2.3 Estimation des coûts de pertes 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 est de 1200 Tonnes en 24 h qui soit : 50 T/heure.

- Prix de produit sorti d'usine (1 kg de sucre) : **83.00 DA**.
- Prix de produit net (importé) : **55.00 DA**.
- Prix d'emballage pour une unité (1 kg) : **3.00 DA**.
- Prix des charges : ouvrier + électricité (pour 1 kg de sucre) : **15.00 DA**.

Le bénéfice net dans 1 kg de sucre est la différence entre le prix de sortie du produit et l'ensemble des charges, il décrit par :

$$83.00 - (55.00 + 15.00 + 3.00) = 10.00$$

D'après notre estimation nous constatons que le bénéfice net dans 1 kg de sucre est : **10.00 DA**. À travers les résultats précités, nous avons trouvés que dans 1 Kg de sucre, le bénéfice net est de **10.00 DA**, nous avons estimé une valeur moyenne de **50 T/h (50 000 Kg/h)**, ce qui donne un coût de perte de production de **500 000.00 DA/h**.

IV.2.4 Élément de sortie

Dans le tableau. IV. 3, nous avons mentionné les coûts de pièce de rechange et la durée de remplacement du module pour chaque dispositif qui constitue la chaîne de production du conditionnement de sucre au sein de complexe Cevital.

Tab. IV. 3 : Elément de sortie pour un compresseur et convoyeur à bande.

Cas d'étude	Compresseur	Convoyeur à bande
Coût de pièce de rechange (DA)	73 000.00	48 000.00
Durée de remplacement de module (h)	15	5
Coût de main d'œuvre (DA)	16 605.00	5 535.00
Coût de remplacement préventif C_p (DA)	89 605.00	53 535.00
Coût de remplacement correctif C_c (DA)	7 589 605.00	2 553 535.00

◆ **Coût de remplacement préventif C_p**

$$C_p = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de la pièce de rechange} \quad (\text{IV.1})$$

◆ **Coût de remplacement correctif C_c**

$$C_c = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de la pièce de rechange} + \text{coût de perte de production} \quad (\text{IV.2})$$

IV.2.5 Coût d'une réparation minimale

Afin d'optimiser la maintenance préventive, nous faisons l'hypothèse que le coût fictif de la maintenance corrective C_c , est dix fois supérieur au coût de la maintenance préventive C_p : $C_c = 10 ; C_p = 1$. Par conséquent le coût d'une réparation minimale (dépannage), nous avons estimé qu'elle coûterait 1/10 du coût de remplacement correctif :

$$C_{min} = \frac{1}{10} C_c \quad (\text{IV.3})$$

Le tableau. IV. 4, illustre les coûts minimaux C_{min} d'un compresseur ATLAS COPCO et le convoyeur à bande B-13 au sein de l'entreprise Cevital :

Tab. IV. 4 : Coût minimale d'un compresseur Atlas Copco et convoyeur à bande.

Cas d'étude	Compresseur GA	Convoyeur à bande
Coût minimale C_{min} (DA)	758 960.5	255 353.5

IV.3 Cas d'étude d'un compresseur GA

Dans cette partie nous allons présenter deux politiques de maintenance en détaille, par l'intermédiaire des formules mathématiques, par la suite nous obtiendrons les temps et les coûts optimaux. Ainsi nous pourrions comparer les résultats obtenus et choisir le modèle le plus adéquat à notre cas de figure en relevant les avantages et les inconvénients de chacun d'eux.

IV.3.1 Historique des pannes et prélèvement des TBF

Afin d'arriver à clarifier et atteindre l'importance de notre travail, nous avons choisi l'historique de l'année 2021 d'un compresseur ATLAS COPCO GA. D'après l'historique, nous résumons les dates et les temps de début et de fin des défaillances dans le tableau. IV.5.

Tab. IV. 5 : Historique des pannes et prélèvement des TBF.

n	Début de la défaillance	Fin de la défaillance	TTR (h)	TBF (h)	Cause d'arrêt
1	04/01/2021 à 08 :20	04/01/2021 à 18 :30	10 :10	181.9	Intervention sur le compresseur (démontage de bloc-vis)
2	12/01/2021 à 11 :00	18/01/2021 à 12 :00	01 :00	263	Serrage et changement de deux cosses (DISJONCTEUR TGBT)
3	23/01/2021 à 13 :00	23/01/2021 à 14 :00	01 :00	383	Réparation d'un purgeur de ballon d'air
4	08/02/2021 à 13 :30	08/02/2021 à 14 :00	00 :30	455.7	Changement de la sonde de température, et capteur de pression
5	27/02/2021 à 16 :00	27/02/2021 à 17 :50	00 :50	551.5	Réparation et remontage du régulateur d'aspiration
6	22/03/2021 à 09 :00	22/03/2021 à 12 :00	03 :00	669	Changement du contacteur triangle
7	19/04/2021 à 15 :00	19/04/2021 à 15 :50	00 :50	767.5	Changement d'un flexible de l'huile pour cause d'une fuite
8	21/05/2021 à 10 :30	21/05/2021 à 15 :10	04 :40	1387.6	Démontage de clapet anti retour et changement du ressort
9	17/07/2021 à 13 :00	17/07/2021 à 14 :00	01 :00	95	Réparation d'un purgeur de condensat
10	21/07/2021 à 15 :10	21/07/2021 à 16 :10	01 :00	239	Changement de thermostat (bloquer)
11	31/07/2021 à 09 :30	31/07/2021 à 10 :30	01 :00	335	Élimination d'une fuite de l'huile (au niveau de la soupape du réservoir)
12	14/08/2021 à 13 :30	14/08/2021 à 15 :40	02 :10	429.9	Changement des électrovannes pour le compresseur
13	01/09/2021 à 10 :30	01/09/2021 à 12 :10	01 :40	550.6	Élimination d'une fuite d'air comprimé
14	24/09/2021 à 09 :30	24/09/2021 à 16 :00	06 :30	89.7	Démontage des refroidisseur (air et huile), nettoyage à eau chaude et remontage
15	28/09/2021 à 14 :00	28/09/2021 à 14 :50	00 :50	287.5	Montage d'une vanne sur la purge du filtre sortie compresseur
16	10/10/2021 à 13 :30	10/10/2021 à 15 :30	02 :00	358	Changement du clapet de maintien
17	25/10/2021 à 11 :00	25/10/2021 à 12 :00	01 :00	431	Élimination du défaut température élevée
18	12/11/2021 à 10 :00	12/11/2021 à 12 :00	01 :00	1103	Réparation du purgeur du circuit d'air
19	28/12/2021 à 09 :30	28/12/2021 à 12 :00	02 :30	69.7	Changement du régulateur d'aspiration

Pour être l'historique utile, il faut traiter les TTR qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage, par la suite nous calculons les TBF de chaque défaillance qui résultent des différences entre deux pannes successives.

IV.3.2 Détermination des paramètres de Weibull

Dans un premier temps, nous avons déterminé clairement le temps entre défaillance (TBF) selon les données recueillies. Dans cette partie, nous allons les classer dans un ordre croissant (Tab. IV.6), afin que nous puissions utiliser le logiciel Isograph Reliability Workbench, donc c'est un langage de programmation destiné aux statistiques et à la science des données.

Tab. IV. 6 : Classement les TBF dans un ordre croissant.

Défaillance N°	TBF	Défaillance N°	TBF
1	69.7	11	429.9
2	89.7	12	431
3	95	13	455.7
4	181.9	14	550.6
5	239	15	551.5
6	263	16	669
7	187.5	17	767.5
8	335	18	1103
9	358	19	1387.6
10	383		

Cette étape consiste à identifier des paramètres β_1 et η_1 de Weibull, à partir d'un logiciel Isograph Reliability Workbench. Les résultats sont consignés dans la figure. IV.1 qui représente la variation TBF par rapport à la proportion de la fiabilité, nous remarquons un nuage forme une droite qui passe par la majorité des points. Les paramètres de forme et de localisation obtenus sont respectivement :

$$\beta_1 = 1.426$$

$$\eta_1 = 507.2 \text{ heures}$$

$$\gamma_1 = 0$$

Nous constatons que la valeur du paramètre de forme est supérieure à l'unité pour le système étudié, ce qui signifie que l'équipement vieillisse avec le temps, cela justifie techniquement le recours à la maintenance préventive. Néanmoins pour l'optimisation, il est indispensable d'intégrer le critère économique. De ce fait, l'adaptation d'une politique de maintenance idéale permettra de faire face à cette dégradation et d'assurer la durée de vie du système, ajouter à cela d'augmenter la production qui sera bénéfique à l'entreprise.

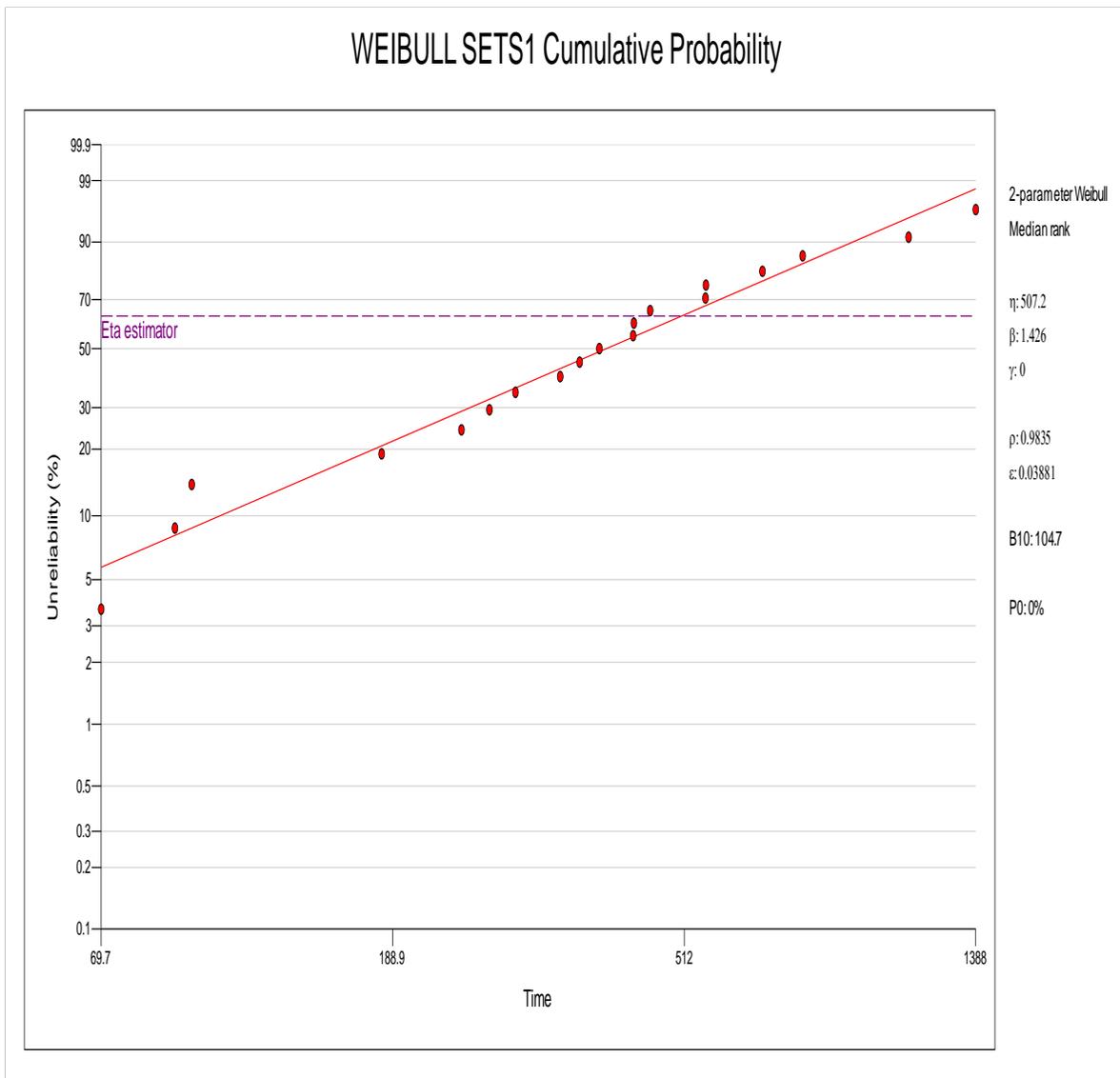


Fig. IV. 1 : Distribution des paramètres de Weibull déterminée par le logiciel Isograph.

IV.3.3 Fonctions de fiabilité

D’après le tableau. I. 4, qui présente les fonctions statistiques de la loi de Weibull, nous remplaçons β, η, γ par leurs valeurs ($\beta_1 = 1.426, \eta_1 = 507.2, \gamma_1 = 0$) on obtient :

$$R_1(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{507.2}\right)^{1.426}\right) = \exp(-(0.002 \times t)^{1.426}) \quad (IV.4)$$

$$F_1(t) = 1 - \exp(-(0.002 \times t)^{1.426}) \quad (IV.5)$$

$$\lambda_1(t) = \left(2.81 \times 10^{-3} \times \left(\frac{t}{507.2}\right)^{0.426}\right) \quad (IV.6)$$

IV.3.4 Comparaison des coûts des deux politiques

Selon les pratiques industrielles, au cours de cycle de vie d'un équipement reçoit plusieurs actions de maintenance ayant chacune sa propre périodicité et sa propre efficacité. Dans ce travail, nous nous sommes concentrés sur une étude comparative entre la politique de maintenance selon l'âge et celle en bloc. Les coûts de maintenance corrective, de maintenance préventive ont été estimés en collaboration avec les responsables de la maintenance de Cevital, leurs estimations sont données dans le tableau. IV. 3.

IV.3.4.1 Politique de maintenance en bloc

La politique de maintenance traitée dans cette partie est de type bloc. L'expression analytique du coût moyen de remplacement a déjà été développée pour cette stratégie et pour certaine extension de celle-ci dans le deuxième chapitre. Nous nous proposons de traiter ce problème à l'aide d'une approche analytique et les plans d'expérience. Notre approche permettre de trouver les résultats obtenus de façon plus efficace en plus de pouvoir traiter notre situation.

Pour pouvoir évaluer les critères de coûts des divers équipements de la chaîne nous utiliserons la formule noté $C(t)$ de l'équation (II. 13) tel que :

$$C(t) = \frac{C_{min} \int_0^T \lambda(t) dt + C_p}{T} \quad (IV.7)$$

D'après l'équation (II. 14), nous permettons d'écrire :

$$\int_0^T \lambda(t) dt = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (IV.8)$$

◆ Application numérique

$$C(t) = \frac{758\,960.5 * \int_0^T \left(2.81 * 10^{-3} \left(\frac{t}{507.2}\right)^{0.426} dt\right) + 89\,605}{T}$$

Les résultats obtenus sont :

$$C(t) = \frac{105.32 T^{1.426} + 89\,605}{T} \quad (IV.9)$$

La résolution analytique de l'équation (IV. 7) pour obtenir le coût minimum et ainsi trouver les valeurs optimales du paramètre T donne les résultats suivants :

$$C(t) = \frac{105.32 T^{1.426}}{T} + \frac{89\,605}{T} \quad (\text{IV.10})$$

L'objectif est de trouver T^* correspondant à la valeur qui minimiserait l'expression de $C(t)$, pour cela il suffit de résoudre l'équation :

$$\frac{\partial C(T)}{\partial T} = 0 \quad (\text{IV.11})$$

Le minimum de la fonction du coût $C(t)$ est atteint lorsque sa dérivée s'annule donc :

$$\frac{\partial c(t)}{\partial T} = \frac{44.87 T^{1.426} - 89\,605}{T^2} \quad (\text{IV.12})$$

Pour avoir T^* il faut que :

$$44.87 T^{1.426} - 89\,605 = 0$$

Ce qui donnera :

$$T^* = \sqrt[1.426]{2000}$$

La périodicité optimale obtenue, d'après notre étude pour le cas d'application d'un compresseur atlas Copco de type GA 160 sur la politique de maintenance en bloc est la suivante :

$$T^* = 206.48 \text{ heures}$$

Nous remplaçons T^* dans l'expression de $C(t)$ nous aurons :

$$C^* = C(T^*) = \frac{105.32 (206.48)^{1.426} + 89\,605}{206.48}$$

Le coût optimal obtenu d'après les calculs est :

$$C^* = 1454.08 \text{ DA/heures}$$

◆ **Commentaire**

Les résultats obtenus par la résolution analytique de l'expression $C(t)$ qui exprime le coût total moyen par unité de temps dans le cas de la loi de Weibull avec : $\gamma_1 = 0$, $\beta_1 = 1.426$ et $\eta_1 = 507.2 \text{ heures}$, les résultats de ce test confirme que le coût optimal est de 1454.08 DA/heures avec une périodicité optimale de 206.48 heures.

IV.3.4.2 Méthodologie d'analyse expérimentale de la politique de maintenance de type âge

À partir de l'équation (II.12), nous constatons que la résolution de l'expression de $C(t)$ analytiquement est impossible, nous avons fait appel aux méthodes numériques par un modèle de simulation de la stratégie de maintenance à l'aide d'un programme Matlab suivant :

```

1 - clear all
2 - clc
3 - A=[];
4 - H=[];
5 - for t=[1:1500]
6 -     A=[A,[t]];
7 -     R(t)=exp(-(0.002*t).^1.426);
8 -     F(t)=quad(@(t) exp(-(0.002*t).^1.426),0,t);
9 -     c=(89605*R(t)+(1-R(t))* 7589605)./F(t);
10 -    H=[H,[c]];
11 - end
12 - plot(A,H);
13 - xlabel('Temps(heurs)')
14 - ylabel('Coût(Dinar algerien)T')

```

Fig. IV. 2 : Programme de simulation de la stratégie de maintenance de type âge.

Le modèle de simulation de la stratégie de maintenance de type âge a été développé sur Matlab et représentées dans la figure. IV. 3 les résultats trouvés pendant cette simulation sont classifiés dans le tableau. IV. 7.

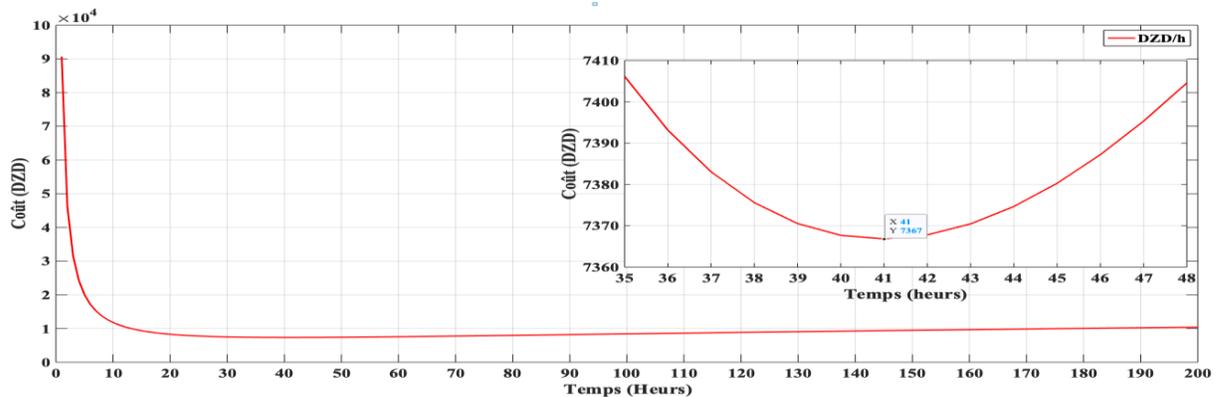


Fig. IV. 3 : Comportement du coût en fonction de l'âge de remplacement (résultats de la simulation)

◆ Commentaire

Sur la figure. IV. 3 nous avons effectué un zoom pour repérer sur l'allure du coût en fonction de temps le point qui contient les coordonnées (T^*, C^*) , d'après ces résultats nous

avons constaté que la valeur optimale (T^*) à laquelle il faut effectuer une maintenance préventive, se trouve dans un intervalle de temps de remplacement préventif à un coût optimal obtenu lors de la simulation. Nous avons réalisé l'analyse expérimentale pour cet intervalle de temps qui varie entre 39 heures et 43 heures dans lequel il serait économique d'effectuer le remplacement préventif, nous pouvons vérifier qu'il existe une différence significative entre les moyens des coûts. Par conséquent on se rapprocherait d'une meilleure intégration de la gestion de la production et de la maintenance. D'après le graph, nous avons remarqué que le coût de remplacement moyen par heure (C^*) de la stratégie de la maintenance type âge est approximativement de :

$$C^* = 7367 \text{ DA/heures}$$

et l'âge optimum (T^*) de remplacement préventif est de :

$$T^* = 41 \text{ heures}$$

IV.3.4.3 Interprétation des résultats et comparaison des deux politiques

Pour pouvoir comparer les deux politiques de maintenance présentés précédemment nous avons pu comparer le critère du coût est illustrés dans le tableau. IV.7.

Tab. IV. 7 : L'écart en termes de coûts entre la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge

Cas d'application (Compresseur Atlas Copco GA 160)	Politique de maintenance de type âge	Politique de maintenance en bloc
Coût optimal (C^*) (DZD)	7367	1454.08
Périodicité optimale (T^*) (heures)	41	206.48

D'après les résultats illustrés dans le tableau précité, la politique de maintenance en bloc semble être préférable d'un point de vue économique, à celle du type de maintenance selon l'âge. De ce fait, nous pouvons remarquer clairement que la supériorité en termes de coûts de la politique de maintenance préventive de type âge par rapport à celle en bloc.

IV.4 Cas d'étude d'un convoyeur à bande TB 13

Cette application concerne l'optimisation de la maintenance d'un convoyeur à bande TB 13. Les observations du retour d'expérience ont été recueillies sur une période s'étalant sur une

année (2021). Nous allons tenter de choisir une politique de maintenance adéquate à notre problématique proposer par le service maintenance (Cevital), en se basant sur des données relevées de l'entreprise, donc l'objectif de notre travail consiste à comparer la politique de maintenance selon l'âge et celle en bloc après évaluation le critère de coût.

IV.4.1 Analyse du retour d'expérience

Le retour d'expérience recueilli sur ce type de transporteur est résumé dans le tableau (IV.8), avec le relevé les temps d'arrêt de la machine, sa date de remise en service, les causes des pannes et les différentes observations relatives à l'intervention. Ainsi que le calcul des intervalles de temps entre les défaillances.

Tab. IV. 8 : Historiques des défaillances d'un convoyeur à bande TB-13.

n	Début de la défaillance	Fin de la défaillance	TTR (h)	TBF (h)	Cause d'arrêt
1	25/01/2021 à 20 :30	25/01/2021 à 23 :40	03 :10	428.9	Changement de la tapis TB 13 au niveau de silo E
2	12/02/2021 à 13 :10	12/02/2021 à 14 :40	01 :30	358.7	Serrage de chassée/station a remontée/soutrage
3	27/02/2021 à 10 :00	27/02/2021 à 12 :00	02 :00	142	Changement trois rouleaux inférieurs
4	05/03/2021 à 10 :10	05/03/2021 à 11 :45	01 :30	94.7	Evacuation de sucre et réglage de la bande
5	09/03/2021 à 11 :10	09/03/2021 à 12 :00	00 :50	1127.5	Démontage de la clames pour redressement
6	25/04/2021 à 11 :15	25/04/2021 à 12 :00	00 :45	263.55	Remontage un rouleau inférieur
7	06/05/2021 à 10 :00	06/05/2021 à 12 :00	02 :00	646	Changement des bavettes et réglage de la bande
8	02/06/2021 à 01 :30	02/06/2021 à 04 :30	03 :00	1221	Réparation de la jonction tapis
9	23/07/2021 à 07 :00	23/07/2021 à 13 :20	02 :00	70	Démontage de la station au niveau de tapis TB 13
10	26/07/2021 à 15 :30	26/07/2021 à 15 :00	00 :30	479.7	Blocage dans la trémie, la chute d'abaissement ou de déchargement
11	15/08/2021 à 14 :15	15/08/2021 à 18 :00	03 :45	188.55	Défaut d'engrenage d'un réducteur soudage ou niveau de motoréducteur
12	23/08/2021 à 13 :30	23/08/2021 à 15 :40	02 :10	1509.9	Changer les supports des rouleaux pour corriger l'angle de l'auge
13	25/10/2021 à 17 :25	25/10/2021 à 18 :20	00 :55	599.45	Quatre rouleaux supérieurs bloqué
14	19/11/2021 à 19 :00	19/11/2021 à 20 :30	01 :30	838.7	Réglage de contre poids de transporteur
15	24/12/2021 à 16 :00	17/12/2021 à 17 :00	01 :00	167	Changement de tambour de contrent au niveau de tapis.

IV.4.2 Estimation des paramètres de Weibull

Pour la détermination des paramètres de la loi de Weibull, nous avons utilisé le logiciel Isograph Reliability Workbench. D'après la figure. IV. 4, nous remarquons que les points sont presque alignés ce qui permet de conclure que la paramètre de position est nul ($\gamma_2 = 0$), le paramètre d'échelle ($\eta_2 = 586.9$ (heures)) et le paramètre de forme ($\beta_2 = 1.19$).

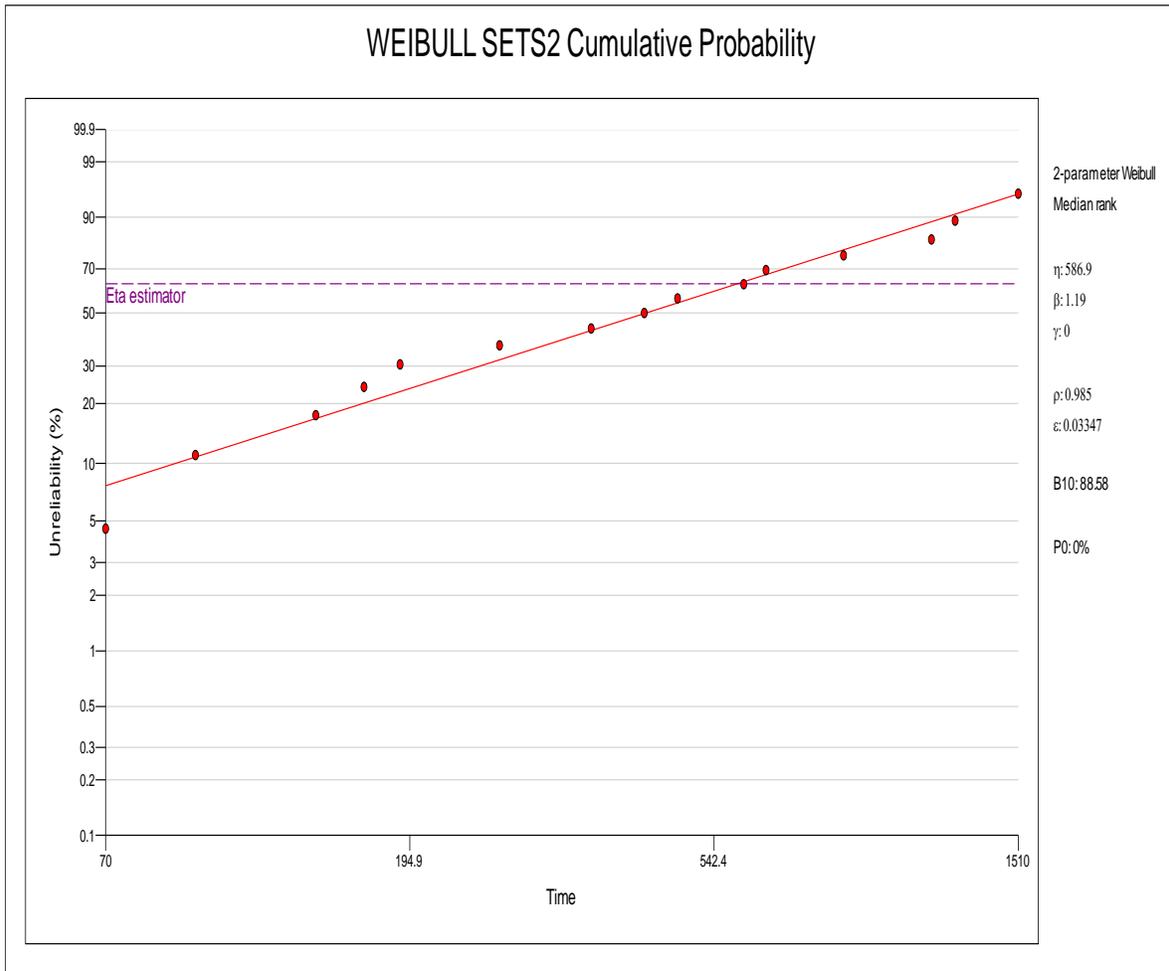


Fig. IV. 4 : Détermination des paramètres de Weibull (logiciel Isograph)

◆ Commentaire

Nous avons obtenu $\beta_2 = 1.19$ donc le transporteur à bande TB 13 est en période de vieillissement, ce qui signifie que le taux de défaillance est croissant.

IV.4.3 Détermination de la fonction $R_2(t)$, $F_2(t)$, $\lambda_2(t)$

Pour une durée de fonctionnement t , nous avons les formules suivantes :

$$R_2(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{586.9}\right)^{1.19}\right) = \exp(-(0.0017 \times t)^{1.19}) \quad (\text{IV.13})$$

$$F_2(t) = 1 - \exp(-(0.0017 \times t)^{1.19}) \quad (\text{IV.14})$$

$$\lambda_2(t) = \left(2.02 \times 10^{-3} \times \left(\frac{t}{586.9}\right)^{0.19}\right) \quad (\text{IV.15})$$

IV.4.4 Détermination de la période optimale par modèle de remplacement basé sur l'âge et celle en bloc

Les installations industrielles sont conçues pour fonctionner pendant une longue période de temps. Au cours de cette période les matériels peuvent être soumis à des variations des conditions de fonctionnement. De ce fait, des plans d'expérience sont utilisés pour étudier le comportement du coût moyen de remplacement dans la zone autour du temps de remplacement optimal, permettrait de mieux planifier les activités d'entretien et ainsi de moins perturber la production.

IV.4.4.1 Stratégie de maintenance en bloc

Le modèle de coût correspondant à la dite politique est donné par l'équation (IV.5), nous allons faire une application numérique ce qui donnera :

$$C(t) = \frac{255\,353.5 * \int_0^T \left(2.02 * 10^{-3} \left(\frac{t}{586.9}\right)^{0.19} dt\right) + 53\,535}{T}$$

Nous obtenons l'expression du coût $C(t)$ par unité de temps comme suit :

$$C(t) = \frac{129 T^{1.19} + 53\,535}{T} \quad (\text{IV.16})$$

À partir de l'expression (IV. 9) nous pouvons déterminer T^* pour laquelle $C(t)$ est minimale, ce qui donnera :

$$\frac{\partial c(t)}{\partial T} = \frac{24.51 T^{1.19} - 53\,535}{T^2} \quad (\text{IV.17})$$

Pour avoir T^* il faut que $\frac{\partial c(t)}{\partial T} = 0$:

$$24.51 T^{1.19} - 53\,535 = 0$$

Les résultats obtenus sont :

$$T^* = \sqrt[1.19]{\frac{53\,535}{24.51}}$$

L'âge optimum (T^*) de remplacement préventif est de :

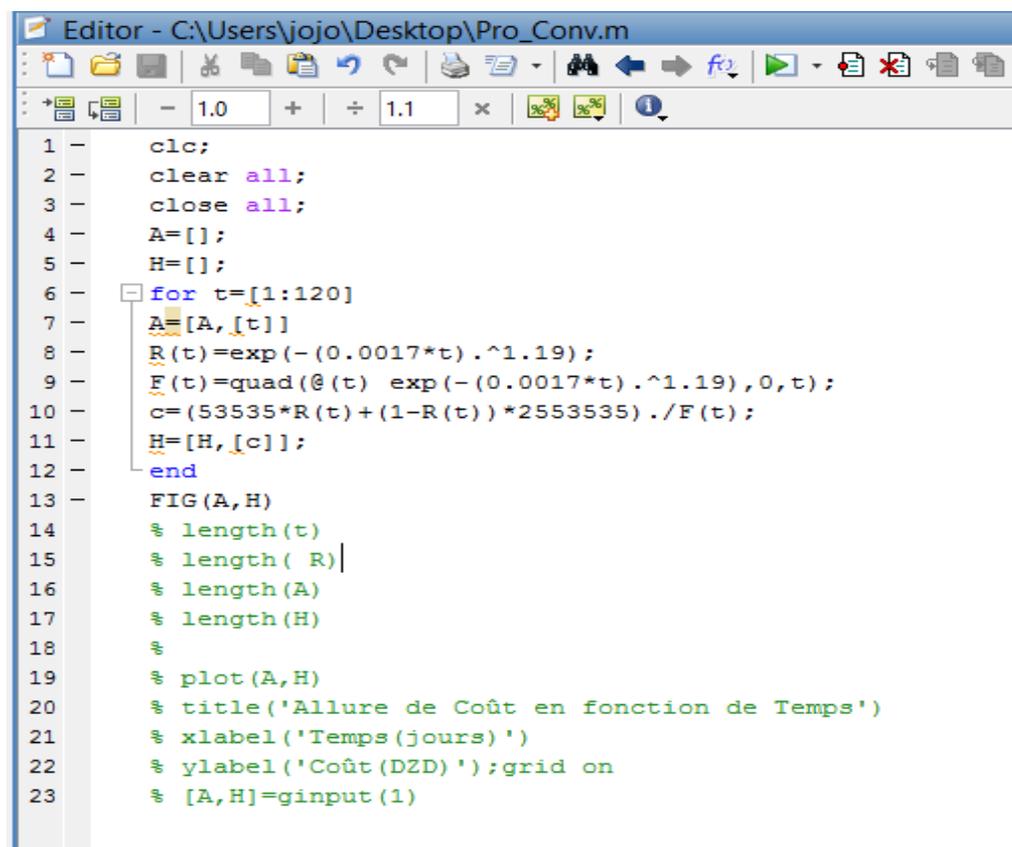
$$T^* = 639.93 \text{ heures}$$

Nous remplaçons T^* dans l'expression de $C(t)$ nous aurons :

$$C^* = 523.96 \text{ DA/heures}$$

IV.4.4.2 Stratégie de maintenance de type âge

Le modèle développé est difficile, voire même impossible d'obtenir une forme analytiquement, il est résolu donc à l'aide du programme Matlab suivant :



```

1 - clc;
2 - clear all;
3 - close all;
4 - A=[];
5 - H=[];
6 - for t=[1:120]
7 -     A=[A,[t]]
8 -     R(t)=exp(-(0.0017*t).^1.19);
9 -     F(t)=quad(@t exp(-(0.0017*t).^1.19),0,t);
10 -    c=(53535*R(t)+(1-R(t))*2553535)./F(t);
11 -    H=[H,[c]];
12 - end
13 - FIG(A,H)
14 - % length(t)
15 - % length(R)
16 - % length(A)
17 - % length(H)
18 - %
19 - % plot(A,H)
20 - % title('Allure de Coût en fonction de Temps')
21 - % xlabel('Temps (jours)')
22 - % ylabel('Coût (DZD)');grid on
23 - % [A,H]=ginput(1)

```

Fig. IV. 5 : Programme de simulation de la stratégie de maintenance de type âge (Matlab)

La figure. IV. 6, représente le coût de la politique de maintenance selon l'âge de l'ensemble d'un convoyeur à bande TB-13 dans la chaîne de production au sein de complexe cevital en fonction du temps, en peut déduire une allure du coût en fonction du temps sur laquelle s'étale notre étude.

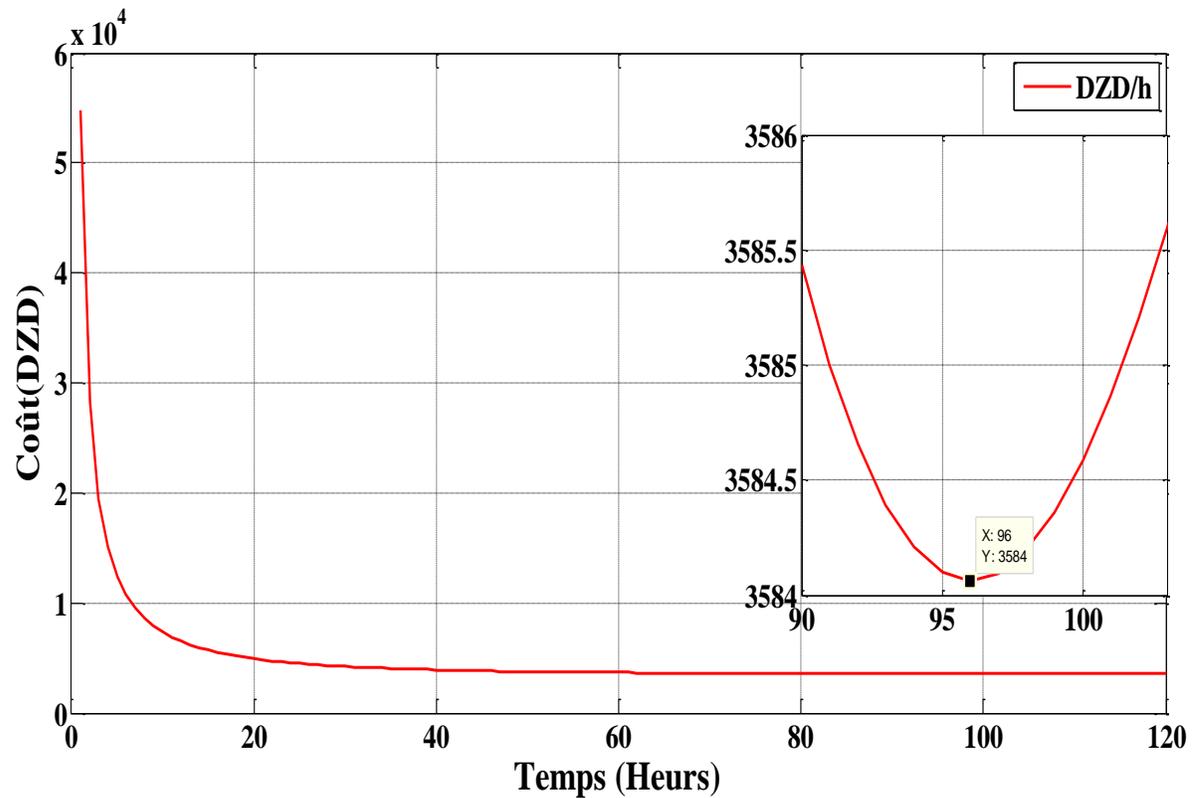


Fig. IV. 6 : Allure du coût de politique de maintenance selon l'âge en fonction du temps

◆ **Commentaire**

Par simulation les résultats sont présentés dans la figure. IV. 6, en premier temps nous avons remarqué que la première partie de la courbe est décroissante $[0, T^*]$, l'observation de la courbe du coût en fonction du temps de remplacement préventif (T), montre qu'autour de l'optimum le coût semble varier très peu. Nous nous sommes donc intéressés au comportement de la variable coût aux alentours de sa valeur optimale. Par la suite nous avons constaté clairement à partir de T^* la courbe est croissante.

La courbe présente une valeur optimale, pour laquelle le coût est minimum (point d'inflexion) :

$$T^* = 96 \text{ heures}$$

$$C^* = 3\,584 \text{ DA/heures}$$

IV.4.4.3 Discussion des résultat et comparaison des deux politiques

Une comparaison entre les deux stratégies de maintenance à l'aide des résultats obtenu, va nous permettre de choisir le modèle adéquat pour notre système. Nous remarquons un écart énorme entre les résultats obtenus de la stratégie de maintenance préventive en bloc et celle de type âge. Pour les coûts optimaux nous avons trouvé que la stratégie en bloc est moins coûteuse par rapport à la stratégie de maintenance basée sur l'âge, ce qui signifie que la stratégie selon l'âge pénalise le système global :

- ◆ **Coût optimum de la stratégie selon l'âge : 3 584 DA/ h**
- ◆ **Coût optimum de la stratégie en bloc : 523.96 DA/h**

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté deux modèles mathématiques pour la détermination de la politique de remplacement optimal, centrée sur une comparaison entre la stratégie de maintenance selon l'âge et celle en bloc qui est basée sur les critères des coûts de maintenance de la chaîne de production pour les deux systèmes multi-composants étudiés (compresseur Atlas Copco type GA 160 et convoyeur à bande TB-13). Nous avons introduit une application numérique pour les deux types de politique dont laquelle nous avons déterminé la distribution de Weibull à deux paramètres utilisés pour modéliser l'expression des coûts $C(t)$ pour les deux stratégies. Ainsi décrire le processus des temps de défaillance de notre situation, conditionnée par l'historique des événements passés au niveau de Cevital plus particulièrement, pour notre cas d'étude. Au fur et à mesure, l'objectif de ce travail était de formuler un modèle de maintenance préventive pour les équipements étudiés. L'analyse des données de retour d'expérience nous a permis de définir clairement que la politique de maintenance préventive en bloc est moins coûteuse que la politique de maintenance préventive selon l'âge.

La stratégie de maintenance en bloc est la plus adéquate pour l'unité opérationnelle maintenance Cevital. Cette politique permettra à l'entreprise d'améliorer la disponibilité de son compresseur de type GA et son convoyeur à bande TB-13, tout en réduisant les coûts de maintenance, notamment ceux relatives aux défaillances. D'après notre étude, nous pouvons optimiser au mieux le moment de l'intervention de maintenance préventive.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

La mission principale d'une entreprise économique consiste à maximiser son bénéfice avec le moindre coût possible. Pour cela, l'entreprise doit adopter une procédure qui minimise les pannes éventuelles dans la chaîne de production.

Dans ce mémoire, nous sommes intéressés à comparer entre la politique de maintenance préventive selon l'âge et la politique de maintenance en bloc. En effet, l'objectif de notre étude consiste à déterminer la politique de maintenance la plus adéquate à l'unité opérationnelle maintenance au niveau du complexe Cevital. Ce choix se fait en s'appuyant sur les résultats obtenus en matière de fiabilité et le critère de coût, c'est justement l'un des outils indispensables pour qu'une entreprise puisse réduire aux mieux les pannes probables de ces équipements. Néanmoins, la connaissance d'une zone optimale de maintenance préventive, donne de la flexibilité pour planifier le temps de remplacement et de garantir l'état de bon fonctionnement de l'outil de production. D'une façon générale, la politique de maintenance sera d'autant plus efficace qu'il permettra d'anticiper et d'éviter les défaillances du système, ainsi de prolonger la durée de vie des équipements.

L'étude technologique que nous avons effectuée sur les deux équipements, nous a permis de bien connaître son fonctionnement ainsi que les différents organes constitutifs. Ensuite, nous avons effectué une étude de fiabilité par le modèle de Weibull (logiciel Isograph Reliability Workbench) qui nous a servi de moyen pour connaître l'état des équipements étudiés qui sont en période de vieillesse.

Les différentes courbes tracées à l'aide de logiciel MATLAB nous ont permis de suivre l'allure des coûts de maintenance en fonction du temps. Pour compléter notre analyse et déduire effectivement la politique de maintenance adoptée à notre équipement.

Le but de notre travail consiste à calculer le coût total de remplacement de l'élément de sortie par unité de temps, afin de déterminer l'intervalle de confiance qui nous permettrons sans doute de trouver la période optimale pour effectuer la maintenance préventive. Ce coût est composé du coût de maintenance préventive et de celui de la maintenance corrective pondérée de la probabilité de défaillance. L'application numérique pour les deux politiques dans laquelle nous avons calculé le taux de défaillance, 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. A la fin nous avons fait une comparaison entre ces deux coûts.

Enfin, cette étude nous a permis de conclure qu'il serait plus économique de procéder à la politique de maintenance en bloc pour les deux cas d'applications (compresseur GA et convoyeur à bande TB-13), par ailleurs cette analyse permet de satisfaire au mieux les objectifs fixés et à démontrer que l'amélioration de la qualité de la maintenance engendrera un prolongement de la durée d'exploitation sans augmentation significative des coûts.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] D. Estelle, « Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant », Thèse de doctorat de l'université de Nantes, France, 2008.
- [2] J. Llaurens, « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique », thèse de doctorat, université de Grenoble, 2011, p. 159.
- [3] A. E. Dafdaf et O. Faïd, « Optimisation de la fiabilité d'un système électromécanique », mémoire de master 2. Msila : université Mohamed Boudiaf, 2018, p. 88.
- [4] L. Pintelon et A. Parodi-Herz, « Maintenance : An Evolutionary Perspective », in Complex System Maintenance Handbook, London : Springer London, 2008, p. 21-48. doi: 10.1007/978-1-84800-011-7_2.
- [5] M. Gallab, H. Bouloiz, E. Garbolino, M. Tkiouat, M. A. ElKilani, et N. Bureau, « Risk analysis of maintenance activities in a LPG supply chain with a Multi-Agent approach », J. Loss Prev. Process Ind. mai 2017, vol. 47, p. 41-56, doi: 10.1016/j.jlp.2017.02.026.
- [6] N. S. Arunraj et J. Maiti. « Risk-based maintenance: Techniques and applications », Journal of hazardous materials, 142.3 ,2007, p. 653-661.
- [7] Wang, Hongzhou. « A survey of maintenance policies of deteriorating systems », European journal of operational research ,139.3 ,2002, p.469-489.
- [8] Normes françaises « AFNOR » ,2001.
- [9] F. Monchy et J.-P. Vernier, « Maintenance Méthodes et organisations », livre, Paris : Dunod, 2000-2010.
- [10] H. Procaccia, E. Fertou, et M. Procaccia, « Fiabilité et maintenance des matériels industriels réparables et non réparables », Tec et Doc ,2011.
- [11] J. Llaurens, « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique », université Joseph Fourier, faculté de pharmacie de Grenoble, 16 Février 2011, p. 159.
- [12] H.P. Ramella, « Maintenance des turbines à vapeur », Techniques de l'ingénieur, Référence
-

BM4186. 2002.

[13] X. Zwingmann, « Modèle d'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité au stade de la conception », Thèse de doctorat en cotutelle, Université Laval Québec et Université Louis-Pasteur Strasbourg, France, 2005.

[14] L. Jean, « Fiabilité des systèmes », cours méthodes mathématiques, 1995.

[15] S. K. Rodrigue, « Définition d'une méthodologie d'estimation de fiabilité et de qualification de systèmes mécanique en phase de développement », Thèse de doctorat, Angers., 2020.

[16] J. Gaudibleux, « Contribution à l'évaluation de sûreté de fonctionnement des architectures de surveillance/diagnostic embarquées. Application au transport. Ferroviaire », Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 2013.

[17] J. Ringler, « Une modélisation bayésienne du taux de défaillance en fiabilité », *Revue de Statistique Appliquée* 29(1), 1981, p. 43-56.

[18] E. H. Ait Mokhtar, « Optimisation de la sûreté de fonctionnement et de la maintenance des systèmes complexes par les réseaux bayésiens », Thèse Doctorat, Université de Bejaïa, 13 Octobre 2016.

[19] E. H. Ait Mokhtar, « modélisation de l'efficacité de la maintenance » ,Cours Master Maintenance Industrielle, Université de Béjaïa, 2019/2020.

[20] M.Newby et R. Dagg, «Optimal inspection and perfect repair», *IMA Journal of Management Mathematics*, 2004, p. 175.

[21] H. Wang et H. Pham, « Reliability and optimal maintenance», Springer Science & Business Media, 2006.

[22] A. Mouhamed, B. Ishak, B.A. Rahim, « Modélisation de l'efficacité de la maintenance des systèmes multi-composants », mémoire de fin d'étude, université de Bejaïa, 2019/2020.

[23] M. Ouali, L.Tadj, S. Yacout, et D. Ait-Kadi, « A survey of replacement models with minimal repair », Springer Series in Reliability Engineering ,London , 2011.

[24] R. Nicolai, J. Frenk, et R. Dekker, «Modelling and optimizing imperfect maintenance of coatings on steel structures», *Structural Safety*, 31(3),2019, p.234-244.

[25] M. Brown et F. Proschan, « Imperfect repair», *journal: applied probability*, 1883.

[26] J. K.Chan et L. Shaw , «Modeling repairable systems with failure rates that depend on age and maintenance», *IEEE Transactions on Reliability*. 1993, p.42:566.

- [27] M. Kijima, M. Morimura, Y. Suzuki, «Periodical replacement problem without assuming minimal repair». *European Journal of Operational Research*, 37, 1988, p. 194-203.
- [28] M. Kijima, « Some results for repairable systems with general repair», *Journal: Applied Probability*, 26, 89–102, 1989
- [29] D.Lin, M. Zuo et R. Yam , «Sequential imperfect preventive maintenance models with two categories of failure modes», *Naval Research Logistics (NRL)*. 2001, p.48:172.
- [30] H. Boudhar, M. Dahane et N. Rezg, «New dynamic for the optimization of opportunities to use new and remanufactured spare part in stochastic degradation context», *Journal: Intelligent manufacturing*, 2017, p.28:437-454, DOI: 10.1007/s10845-014-0989-1.
- [31] 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.
- [32] R. Laggoune et C. Haddad, « optimisation de la maintenance des équipements de manutention du terminal à conteneurs de Bejaia », 3ème conférence internationale(csc), 2012
- [33] W. Hongzhou, «A survey of maintenance policies of deteriorating systems», *European journal: operational research*, 139(3) :469-489, 2002.
- [34] T. Nakagawa, «Sequential imperfect preventive maintenance policies», *IEEE Transactions on Reliability*, 37(3), 1988, p.295-298.
- [35] B. Frank, «A replacement policy based on limits for the repair cost rate», *IEEE Transactions on Reliability*, R-31(4), 1982, p. 401-403.
- [36] S. Yahiaoui et M.Khaznaji, «Étude et maintenance d'un compresseur d'air à vis type GA (atlas copco) », *Mémoire de Master ,Université de M'sila*, 2006/2007.
- [37] A. BELHAMRA, « Amélioration des conditions d'exploitation des convoyeurs à bonde », *Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba*, 2015, p. 155.
-
-

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 déférents facteurs qui influents sur le système étudié. Dans notre cas la politique de maintenance en bloc est la mieux adaptée pour les deux systèmes que nous avons étudiés.

Mots clés : *Système multi-composant, dépendance économique, politique de maintenance en bloc.*

Abstract:

In continuous operating units, the loss of production is high in the event of shut down. Preventive maintenance is often implemented to reduce failures and increase the availability and service life of equipment. In units with continuous operation, the loss of production is high in cause of shutdown. The life distributions obtained by the feedback analysis are used for optimizing the maintenance plan of a multi-component system in a context of economic dependence, this dependence is taken into account by introducing a preventive maintenance policy based on the parameters and reliability laws, the choice of this policy is not always obvious, this requires a thorough study of the various factors which influence the system studied. In our case, the bulk maintenance policy is the best suited for these two systems we studied.

ملخص:

وفي الوحدات التي تعمل على نحو متواصل تكون خسارة الإنتاج مرتفعة في حالة توقف العمل. عادة ما يتم تنفيذ الصيانة الوقائية لتقليل حالات الأعطال وزيادة وقت عمل الأجهزة. وتستخدم فترات العمر التي يتم الحصول عليها من تحليل التجربة في تحسين خطة صيانة نظام متعدد المكونات في سياق التبعية الاقتصادية. ويراعى هذا الاعتماد في الأخذ بسياسة صيانة وقائية قائمة على معايير وقوانين الموثوقية. بيد أن اختيار هذه السياسة لا يقتضي دائما إجراء دراسة متعمقة للعوامل المؤثرة في النظام. وفي حالتنا هذه فإن سياسة الصيانة الشاملة هي الأفضل للنظامين اللذين قمنا بدراستهما.



Ctrl + 1 : nom de chapitre
 Ctrl + 2 :
 Ctrl + 3 :
 Ctrl + 4 :
 Ctrl + 5 :
 Ctrl + 6 :
 Ctrl + 7 : cree figure numerote
 Ctrl + 8 :

Liste des figures

Fig. I. 1 : Evolution de la maintenance dans le temps.....	6
Fig. I. 2 : Classification des divers types de maintenance (AFNOR).....	8
Fig. I. 3 : Déroulement chronologique des actions de maintenance préventive systématique...	10
Fig. I. 4 : Déroulement chronologique des actions de maintenance préventive conditionnelle.	10
Fig. I. 5 : Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance	14
Fig. I. 6 : Objectifs de la maintenance.....	15
Fig. I. 7 : Relation entre les composantes de sûreté de fonctionnement	16
Fig. I. 8 : Allure de l'évolution de l'intensité de défaillance λt « courbe en baignoire »	18
Fig. I. 9 : Fonction de densité de probabilité - loi exponentielle.....	Erreur ! Signet non défini.
Fig. I. 10 : Variation du taux de défaillance en fonction de β – loi de weibull.....	20
Fig. I. 11 : Diagramme de fiabilité d'un système en série.....	21
Fig. I. 12 : Diagramme de fiabilité d'un système en parallèle	21
Fig. I. 13 : Les durées caractéristiques de FDM.....	23
Fig. II. 1 : Gestion des activités de maintenance avec support d'une GMAO	24

Fig. II. 2 : Déroulement des intervention de service maintenance	25
Fig. II. 3 : Intensité de défaillance dans le cas de maintenance parfaite (AGAN)	26
Fig. II. 4 : Intensité de défaillance dans le cas de maintenance ABAO	27
Fig. II. 5 : Trajectoires de l'intensité de défaillance dans le modèle Brown-Proschan.....	28
Fig. II. 6 : Les différents modèles de réduction d'intensité de défaillance	29
Fig. II. 7 : Intensité de défaillance dans le modèles de réduction d'intensité de défaillance	Erreur ! Signet non défini.
Fig. II. 8 : L'intensité de défaillance dans le modèle hybride	31
Fig. II. 9 : Aspect des coûts de maintenance en fonction de fréquence des interventions	32
Fig. II. 10 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintanance de type l'âge.	34
Fig. II. 11 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance en bloc.	36

Liste des figures III

Fig. III. 1 : Schéma résume le principe de fonctionnement d'un compresseur.....	40
Fig. III. 2 : Classification des compresseurs	41
Fig. III. 3 : Photo réelle d'un compresseur à vis	42
Fig. III. 4 : Engrènement de deux vis d'un compresseur	42
Fig. III. 5 : Différents composants d'un compresseur à vis de type ATLAS COPCO	44
Fig. III. 6 : Cycle de production de l'air comprimé	45
Fig. III. 7 : Changement subit par l'air dans le compresseur	46
Fig. III. 8 : Photo réel d'un transporteur à bande	48
Fig. III. 9 : shéma de principe d'un convoyeur à bande.....	49
Fig. III. 10 : Photo réel d'une bande transporteuse d'un convoyeur.....	49
Fig. III. 11 : présentation des différents tambours du convoyeur	50
Fig. III. 12 : Rouleaux station inférieure et supérieure	51

Fig. III. 13 : Système de transmission d'énergie.....	52
Fig. IV. 1 : Distribution des paramètres de Weibull déterminée par le logiciel Isograph.....	60
Fig. IV. 2 : Programme de simulaltion de la stratégie de maintenance de type âge.....	63
Fig. IV. 3 : Comportement du coût en fonction de l'âge de remplacement (résultats de la simulation)	63
Fig. IV. 4 : Déterminatioin des paramètres de weibull (logiciel Isograph).....	66
Fig. IV. 5 : Programme de simmulation de la stratégie de maintenance de type âge (Matlab)	68
Fig. IV. 6 : Allure du coût de politique de maintenance selon l'âge en fonction du temps	69