

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



Université Ibn Khaldoun de Tiaret  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Mécanique



## MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Electromécanique

**Parcours** : Master

**Spécialité** : Maintenance Industrielle

### Thème

Contribution à l'étude de la  
maintenance basée sur la fiabilité.  
Étude de cas.

Préparé par :

Bouziane khaled  
Delbaz abdelhafid

Soutenu publiquement le : 14 / 07 / 2021, devant le jury composé de :

Mme. MAKHFI SOUAD	Maître Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. ZAGA NE M.SALEH	Maître Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. BEY MOHAMED	Maître Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. ELGUERRI Mohamed	Maître Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur



# *Remerciements*

À l'issue de cette fin d'étude, nous adressons nos sincères remerciements  
premièrement à « Allah » tout puissant qui nous a donné la santé, la patience.  
Et nous tenons à remercier également notre prophète « Mohamed » pour nous  
guider à la bonne voie.

Nous remercions sincèrement Madame le présidente, pour le grand honneur  
d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Ensuite, on tient à adresser nos plus vifs remerciements à notre encadreur  
Mr : ELGUERRI Mohamed pour nous avoir encadré, suivi et encouragé.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury, d'avoir accepté  
d'examiner notre travail.

On n'exclue pas de ces remerciements toutes les personnes qui ont aidé de près ou  
de loin dans la réalisation de cette PFE.

Enfin, on remercie tout particulièrement nos parents, pour leur soutien  
inconditionnel tout au long de nos longues années d'études.

Nous voulons également remercier nos familles et nos amis pour leur soutien  
moral. Les discussions, les remarques et les commentaires de nos collègues ont été  
sources d'idées et ont contribué au développement et à l'amélioration de cette  
étude.

*Merci à tous*

## Liste des Abréviations

<b>MBF :</b>	Maintenance basée sur la fiabilité.
<b>IMS :</b>	Système de maintenance intelligente.
<b>M2M :</b>	Machine à machine.
<b>M2H :</b>	Machine à homme.
<b>IIoT :</b>	Internet des objectifs industriels.
<b>IA :</b>	Intelligence artificielle.
<b>VR :</b>	Réalité virtuelle.
<b>JIT :</b>	Juste dans le temps.
<b>AMDEC :</b>	L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité.
<b>GMAO :</b>	Gestion de maintenance assistée par ordinateur
<b>TPM :</b>	Total productive maintenance.
<b>TRE :</b>	Taux de rendement économique.
<b>TRS :</b>	Taux de rendement synthétique.
<b>TRG :</b>	Taux de rendement global.
<b>MOO :</b>	L'optimisation multi-objective.
<b>SD :</b>	Système de modèle.
<b>OMF :</b>	Optimisation de maintenance basée sur la fiabilité.
<b>PMO :</b>	Plan maintenance optimisé.
<b>PMT :</b>	Plan maintenance technique.
<b>LCC :</b>	Enregistrement de cycle de vie cycle caste.
<b>SPA :</b>	Société par action.
<b>UNA :</b>	Urée-ammonitrate.
<b>SSP :</b>	Productrice du super simple phosphate.
<b>TSP :</b>	Triple superphosphate.
<b>PMT :</b>	Plan de maintenace technique.

# Sommaire

## Chapitre I

<b>I.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2</b>	<b>Prologue de la Maintenance .....</b>	<b>3</b>
	<b>I.2.1 Historiques de la Maintenance .....</b>	<b>3</b>
	<b>I.2.2 Exposition de la MBF .....</b>	<b>5</b>
<b>I.3</b>	<b>Généralités et Objectifs de la MBF .....</b>	<b>6</b>
	<b>I.3.1 Approches de la MBF .....</b>	<b>7</b>
	<b>I.3.2 Outils de la MBF .....</b>	<b>7</b>
	<b>I.3.3 Étapes de Maintenance.....</b>	<b>8</b>
	<b>I.3.4 Principes de Base de la MBF .....</b>	<b>8</b>
<b>I.4</b>	<b>Programme de MBF Préconisée par la CEI .....</b>	<b>9</b>
<b>I.5</b>	<b>Application de la MBF .....</b>	<b>10</b>
	<b>I.5.1 Évaluation des Stratégies de Maintenance .....</b>	<b>11</b>
	<b>I.5.2 Optimisation de la MBF .....</b>	<b>12</b>
	<b>I.5.3 Maintenance dans une approche fondée sur la fiabilité.....</b>	<b>13</b>
	<b>I.5.4 Comportement des Équipements .....</b>	<b>13</b>
	<b>I.5.5 Évaluation et États des Équipements.....</b>	<b>14</b>
<b>I.6</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>14</b>

## Chapitre II

<b>II.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>II.2</b>	<b>Maintenance Intelligente .....</b>	<b>16</b>
<b>II.2.1</b>	<b>Définition d'un Système Intelligent.....</b>	<b>16</b>
<b>II.2.2</b>	<b>Intelligence Artificielle .....</b>	<b>17</b>
<b>II.2.3</b>	<b>Gestion de la Maintenance.....</b>	<b>17</b>
<b>II.2.4</b>	<b>Maintenance Prédictive.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2.5</b>	<b>Rôle de Maintenance Prédictive.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2.6</b>	<b>Objectif de la Maintenance Prédictive.....</b>	<b>18</b>
<b>II.3</b>	<b>Relation entre L'intelligence Artificielle et la Maintenance .....</b>	<b>19</b>
<b>II.4</b>	<b>Outils D'optimisation de la Maintenance.....</b>	<b>20</b>
<b>II.4.1</b>	<b>Optimisation de la Maintenance .....</b>	<b>20</b>
<b>II.4.2</b>	<b>Méthodes D'optimisation de la Maintenance.....</b>	<b>20</b>
<b>II.4.3</b>	<b>Outils D'optimisation .....</b>	<b>21</b>
<b>II.4.4</b>	<b>Modèles D'optimisation Qualitatifs .....</b>	<b>21</b>
<b>A.</b>	<b>La Technique GMAO .....</b>	<b>21</b>
<b>B.</b>	<b>La Technique TPM .....</b>	<b>24</b>
<b>II.4.5</b>	<b>Modèles D'optimisation Quantitatifs.....</b>	<b>29</b>
<b>A.</b>	<b>Approche de Simulation de Chaîne de Markov.....</b>	<b>29</b>
<b>B.</b>	<b>Objectif de la Chaîne de Markov .....</b>	<b>29</b>
<b>C.</b>	<b>Optimisation Multi-objectifs et Modèle de Système Dynamique.....</b>	<b>30</b>
<b>II.5</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>30</b>

## Chapitre III

<b>III.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>32</b>
<b>III.2</b>	<b>Présentation de l'Entreprise .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2.1</b>	<b>Historique de l'Entreprise.....</b>	<b>32</b>
<b>III.2.2</b>	<b>Différentes Unités de l'Entreprise .....</b>	<b>33</b>
<b>III.2.3</b>	<b>Objectifs de l'Entreprise .....</b>	<b>33</b>
<b>III.3</b>	<b>Problématique .....</b>	<b>34</b>
<b>III.4</b>	<b>Notions de Base .....</b>	<b>34</b>

III.4.1 Définition des Pompes .....	34
III.4.2 Fonctionnement des Pompes.....	35
III.4.3 Classification des Pompes .....	35
III.4.3.1 Turbopompes .....	36
III.4.3.2 Pompes Volumétriques.....	36
III.5 Généralités sur les Turbopompes.....	37
III.5.1 Pompes Centrifuges .....	38
III.5.2 Définition des Pompes Centrifuges.....	38
III.5.3 Fonctions des Pompes Centrifuges dans la Production.....	38
III.5.4 Caractéristiques Générales des Pompes Centrifuges .....	38
III.6 Pompes Centrifuges ‘104J Type MF 410’ .....	40
III.6.1 Description et Fonctionnement.....	41
III.6.2 Composition de l’Équipement .....	41
III.7 Démarrage de la Pompe Centrifuge.....	42
III.7.1 Lubrification.....	43
III.7.2 Surveillance .....	43
III.7.3 Maintenance .....	43
III.8 Étude de Fiabilité du Processus Maintenu .....	44
III.8.1 Lois Usuelles de Probabilité .....	44
III.8.2 Métriques de la Sûreté de Fonctionnement .....	35
III.8.3 Analyse de la Criticité.....	35
III.9 Conclusion .....	40
Références .....	40

## Liste des Figures

### Chapitre III

<b>Fig. III-1 :</b>	Différentes unités du complexe FERTIAL .....	33
<b>Fig. III-2 :</b>	Schéma d'une Pompe Hydraulique .....	35
<b>Fig. III-3 :</b>	Évolution de la vitesse et de la pression dans la pompe.....	36
<b>Fig. III-4 :</b>	Fonctionnement de quelques types de pompe volumétrique.....	37
<b>Fig. III-5 :</b>	Caractéristique "hauteur d'élévation" H (Q) de la pompe. ....	39
<b>Fig. III-6 :</b>	La courbe $\eta(Q)$ du rendement. ....	40
<b>Fig. III-7 :</b>	Pompe Centrifuge 104J MF 410. ....	40
<b>Fig. III-8 :</b>	Présentation des composants générale de pompe centrifuge.....	42
<b>Fig. III-9 :</b>	Objectifs de la maintenance .....	44
<b>Fig. III-10 :</b>	Domaines, Typologies et méthodes de la maintenance. [48] .....	32
<b>Fig. III-11 :</b>	Traçage de la fonction de probabilité de non défaillance .....	32
<b>Fig. III-12 :</b>	Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire » [44] .....	33
<b>Fig. III-13 :</b>	Traçage de la fonction de densité de probabilité .....	34
<b>Fig. III-14 :</b>	Traçage de la fonction de probabilité de répartition. ....	34
<b>Fig. III-15 :</b>	Graphique combiner la densité de probabilité et la fonction de fiabilité.....	35
<b>Fig. III-16 :</b>	Estimation graphique du taux de défaillance depuis la fiabilité.....	36
<b>Fig. III-17 :</b>	Représentation de la disposition réparable. ....	36
<b>Fig. III-18 :</b>	Processus de déroulement d'une maintenance d'une pompe. ....	37
<b>Fig. III-19 :</b>	Rendement de Fonctionnement basé sur le TBF et le TTR.....	38
<b>Fig. III-20 :</b>	Représentation graphique des pannes selon leur nombre et intervention. ....	38

« ----- »



## **Introduction Générale**

Les entreprises industrielles s'intéressent profondément au développement et à l'amélioration de la production, aux méthodes de recherche scientifique et au progrès technologique, qui contribuent à l'amélioration et au développement d'outils et de plans de maintenance basés sur la fiabilité, de sorte que la maintenance basée sur la fiabilité est le processus utilisé pour développer un plan de maintenance préventive et pour réduire la possibilité de défaillance fonctionnelle, ainsi que la maintenance prédictive avec les avancées technologiques, alors que le monde de la programmation est devenu un pays des merveilles pour la plupart des entreprises, l'optimisation du système de bout en bout contribue à une maintenance productive globale qui permet les atouts. De plus, il augmente la productivité, réduit les temps d'arrêt et améliore la sécurité. Appelée maintenance préventive, c'est elle qui assure aux industriels la sécurité, la disponibilité et la fiabilité des équipements de production en eux-mêmes.

L'objectif de ce travail est d'étudier la contribution au développement de la maintenance basée sur la fiabilité à travers son concept et de clarifier son mécanisme et son approche, et c'est ce que nous avons abordé dans le premier chapitre.

Dans le deuxième chapitre, nous définissons l'intelligence artificielle et son rôle dans le développement de la maintenance, notamment prédictive, En s'appuyant sur des outils et des approches de nature système intelligent.

Dans le troisième chapitre, nous avons pris une étude de cas d'une entreprise de production des engrais le cas d'une pompe centrifuge, où nous définissons d'abord l'entreprise puis définissons les pompes, leurs types, mécanisme et fonction pour étudier leur maintenance selon la maintenance basée sur la fiabilité et appliquée les lois des fiabilités.

Enfin il nous reste qu'à conclure les interventions nécessaires pour réduire ou éviter les défaillances les plus courant, et donner des perspectives de travail.

## **Chapitre I**

### **‘ Maintenance basée sur la Fiabilité ’**

### I.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude théorique de la maintenance basée sur la fiabilité, définitions générales après rappel de ses origines, classification de la maintenance, niveaux et opérations de la maintenance ainsi que leurs applications.

La maintenance basée sur la fiabilité (MBF) est un véritable outil de conception de la maintenance préventive ; en conciliant les doubles enjeux disponibilité/coût global de possession des installations. Parmi les outils ou méthodes qu'elle utilise, les grilles d'analyse de mode de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC). Cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets [1]. Elle occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance.

### I.2 Prologue de la Maintenance

Dans la maintenance il s'agit d'un ensemble de procédures et d'une série d'opérations continues à effectuer afin de mettre la machine en pleine préparation au travail.

#### I.2.1 Historiques de la Maintenance

Bien avant la révolution industrielle dans la seconde moitié du 18<sup>ème</sup> siècle, la maintenance consistait en des activités des artisans tels que les menuisiers, les forgerons, les soudeurs, les maçons, etc. dans la réparation des bâtiments, des machines primitives et des moyens de transport de l'époque [2]. Comme il n'y avait pas de concepts tels que « pièces de rechange » ou autre concepts relatifs à la maintenance de jours, les défaillances étaient en général réparées par la fabrication de nouvelles pièces ou la réparation de l'ancienne. Par ailleurs, la réparation était très à l'ordre du jour et les structures de base étaient-elles mêmes soit réparables, soit d'une très grande durabilité, ou les deux à la fois.

En l'absence de méthodes pour le calcul de la fatigue et autres concepts liés à la dégradation, la conception et la réparation étaient fortement intégrées, en ce sens que pour remplacer une pièce défaillante jugée pas assez efficace par le propriétaire, ce dernier exigeait une autre plus robuste. Toutes ces pratiques étaient liées à l'évolution lente et au faible coût de ces services de l'époque. Ces pratiques ont progressivement évolués à partir de la révolution industrielle. En 1785, Thomas Jefferson a noté que les pièces des canons étaient fabriquées de façon adéquate et assez rapidement pour qu'on envisage de les changes au besoin [2].

Le concept, lent à l'époque, de pièces de rechange, s'est progressivement accéléré. Cette accélération est fortement accentuée par la complexité croissante des machines à « maintenir ».

Le travail de l'agent de maintenance s'est alors progressivement dirigé vers plus d'aptitudes au diagnostic. Un autre facteur important de ce changement était le contrôle de qualité, puis l'automatisation dans les systèmes manufacturiers ; ceci a rendu le remplacement des pièces, et plus tard des unités entières, plus rapides et faciles que les réparations dans beaucoup de cas.

Les approches pour la gestion de la maintenance ont ainsi considérablement évoluées au cours du vingtième siècle. Jusqu'en 1940, seule la maintenance corrective était pratiquée et elle était considérée comme un coût inévitable [3]. Les agents spécialisés de maintenance (réparateurs) sont là pour la remise en état des équipements seulement une fois que ceux-ci sont tombés en panne. La maintenance n'était pas envisagée à la conception, et ses impacts sur les performances des systèmes n'étaient pas non plus reconnus. Les applications de la recherche opérationnelle à l'industrie (notamment l'industrie militaire) pendant la deuxième guerre mondiale ont conduit à une large pratique de la maintenance préventive [4] [5].

Les Allemands, dans leurs efforts de guerre étaient de ceux qui ont fortement poussé à l'exigence de plus en plus de fiabilité, et partant accordent de plus en plus d'importance stratégique à la maintenance. La maintenance périodique était initialement destinée à améliorer la sûreté plutôt qu'à accroître la disponibilité ou à réduire les coûts. Depuis les années 1950, les modèles de recherche opérationnelle sont apparus de façon croissante dans l'étude et l'optimisation des politiques de maintenance. Cette évolution peut être observée à travers les nombreux travaux publiés sur la maintenance et qui sont regroupés et analysés dans plusieurs travaux de synthèse et états de l'art [6].

Ces différents travaux, sur lesquels nous reviendrons, présentent des modèles qui traitent des effets de différentes politiques de maintenance et de la sélection optimale des paramètres de ces politiques. Mais l'impact réel des actions de maintenance sur la performance des activités n'est abordé que dans les années 1970 où des approches plus intégrées de la maintenance ont évolué aussi bien dans le domaine public que privé. L'acquisition de moyens de défense de plus en plus coûteux conduisit alors les autorités américaines à requérir des approches de « coût globale du cycle de vie » (LCC - Life Cycle Costing), le coût de la maintenance devenant alors un composant très important de ce coût du cycle de vie [3].

Le lien direct entre la fiabilité et la maintenabilité est alors reconnu et le terme "R&M" (Reliability - Maintainability) devient très largement utilisé en parlant des systèmes de défense. Ce concept est aussi adopté dans les industries et services civiles.

La maintenance basée sur la fiabilité (RCM - Reliability Centered Maintenance) apparaît alors dans l'aviation civile aux États-Unis. Au même moment, les japonais développent la maintenance productive totale (TPM - Total Productive Maintenance) [7].

Ces deux pratiques, considèrent la maintenance dans le contexte large des activités économiques et prennent en compte les liens étroits entre les défaillances des composants et leurs impacts sur la performance des activités. Ces deux pratiques opèrent sur des horizons à court et moyen terme. Ces considérations nécessitent des modèles de prédiction efficaces pour accéder aux conditions de divers éléments des systèmes et à leur comportement sous différentes stratégies de maintenance.

Des insuffisances dans ces pratiques sont devenues apparentes dans les années 1990. Il apparut de plus en plus que la maintenance ne devrait pas être vue que dans un contexte opérationnel en considérant les défaillances des équipements et leurs conséquences. Elle devait tenir compte aussi bien des retombées économiques que des normes nationales et internationales de plus en plus exigeantes. Ainsi, l'évolution de la maintenance et des outils pour son management ont donné à la maintenance diverses pratiques au sein de l'entreprise.

### I.2.2 Présentation de la MBF

Pour minimiser l'impact des arrêts sur la production et traiter rapidement les problèmes des arrêts accidentels de la machine de production qui sont considérés comme une source de perturbation et de perte de productivité, les activités de maintenance doivent être intégrées à la gestion de production. Il s'agit d'une technique de maintenance applicable sur les équipements et les machines de production, cette technique s'appelle "**Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF)**", qu'est de planifier l'exécution des autres tâches de maintenance, en altérant le moins possible le plan de production, et tout en respectant au mieux la périodicité de maintenance des équipements. [8]

La maintenance basée sur la fiabilité (MBF) est le concept de la planification de la maintenance pour garantir que les systèmes continuent de faire ce que l'utilisateur exige dans le contexte actuel d'exploitation [6]. La mise en œuvre réussie du MBF entraînera une augmentation de la rentabilité, de la fiabilité et de la disponibilité des machines et une meilleure compréhension du niveau de risque géré par l'organisation.

### I.3 Généralités et Objectifs de la MBF

La maintenance basée sur la fiabilité a pour but :

- D'élaborer un programme de maintenance préventive optimisé, ayant pour but la sûreté de fonctionnement et des moyens de production, en tenant compte des aspects économiques.
- L'amélioration de l'organisation de la maintenance, ceci malgré le manque de ressources générales. C'est la marche nécessaire pour aller vers la certification de l'entreprise.

La conservation des données de maintenance et de production (base de données) est également un objectif non négligeable de cette méthode. Il est très important que le programme de maintenance préventives s'approche d'un niveau optimal afin de minimiser les risques de défaillance, tout en conservant une capacité de service maximale des moyens de production et en dégagant des facteurs de gains dans les entreprises. Cette optimisation doit donc s'appuyer sur une optimisation technique (obtention du plan de maintenance technique (PMT)) suivi d'une évolution économique tenant compte des contraintes organisationnelles et conduisant un plan de maintenance optimisé (PMO) ; la mise en œuvre de cette étape pourra conduire très souvent à une diminution des coûts de maintenance à performance égale [9].

La modification des équipements dans le temps, le vieillissement des installations et matériels, induisent un besoin complémentaire de définition des plans de maintenance rendant dépassées les préconisations des constructeurs. Le but de chacun est l'obtention d'un outil de production sûr de fonctionnement à un coût raisonnable. La MBF entre tout naturellement dans la partie « logistique de maintenance » de la notion de la sûreté de fonctionnement. C'est pourquoi la MBF s'appuie sur une méthodologie d'élaboration d'un programme de maintenance préventive pour les équipements (en exploitation) au moyen d'une approche logique, structurée, pragmatique et sûre.

Un certain nombre d'apports de la démarche MBF peuvent être évoqués dès à présent, ils sont souvent difficiles à quantifier et sont évidemment fonction du type d'industrie et des moyens mis en œuvre pour mettre en place la MBF. La maintenance peut être vue sous les trois aspects organisationnels, techniques et humains, les bénéfices attendus se décomposent selon ces trois aspects. La mise en place d'un plan de maintenance optimisé dans l'entreprise qui s'appuie sur la démarche MBF provoque une diminution du nombre de tâches de maintenance préventives qui sont supprimées ou remplacées par de la maintenance corrective :

- La maintenance conditionnelle augmente ;
- Le besoin en pièce détachées diminue ;
- Le remplacement est mieux justifié.

Une remise en cause de certaines solutions de conception peut aussi être recommandée. La MBF est un outil de justification en conception et en exploitation.

### I.3.1 Différentes Approches de la MBF

Durant ces dernières décennies, la maintenance a été parmi les disciplines les plus touchées par les changements. La maintenance a toujours été considérée comme un poste de dépenses dans l'industrie. Son rôle a longtemps été réduit aux activités de dépannage ou à l'entretien, rarement considéré comme une activité stratégique. Depuis longtemps, la maintenance a manqué de méthodologie d'approche et cette discipline a produit plusieurs perceptions critiques impliquant des résultats médiocres [10].

Plusieurs contraintes, liées aux exigences de la baisse des coûts de production des biens et des services, ont donc incité les dirigeants et les ingénieurs de la maintenance à changer leurs manières de penser et d'agir ces dernières décennies. Toutefois les limitations du système traditionnel de la maintenance, indépendamment du degré d'informatisation, sont devenues apparentes obligeant ainsi les acteurs industriels et économiques à apporter un nouvel éclairage à cette fonction. Cette discipline a évolué dans un sens favorable donnant ainsi naissance à plusieurs méthodes scientifiques d'optimisation mettant en cause le rôle, les politiques, les stratégies et les responsabilités de la maintenance.

### I.3.2 Outils de la MBF

Cette approche MBF utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues tels que la matrice de criticité, les grilles d'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) et le logigramme de décision [9] ; La matrice de criticité permet d'apprécier l'impact des défaillances des équipements sur des critères tels que la sécurité, la disponibilité et la qualité, La grille AMDEC définit l'importance relative des défaillances, de leurs causes et de leurs effets, Le logigramme de décision sert en fonction du type de défaillance, à identifier le type de conséquence sur les équipements et à définir le niveau des actions de maintenance à mettre en œuvre.

L'application de la MBF nécessite une bonne connaissance des équipements ainsi que de leurs défaillances, de même que l'impact de ces défaillances. C'est pourquoi l'implication de l'ensemble des opérateurs, techniciens et experts de l'entreprise est indispensable pour obtenir des résultats souhaités et souhaitables tant au niveau de la sûreté de fonctionnement, de la sécurité que des coûts globaux.

On trouve dans ces manuels [11], [12] un processus MBF fidèle aux concepts initiés par Nowlan et Heap et assez cristallisé pour optimiser la maintenance et la fiabilité en se basant sur les trois étapes principales suivantes :

- L'analyse fonctionnelle et l'analyse des défaillances fonctionnelles.
- L'analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leurs criticités.
- Le choix de la stratégie de maintenance en se basant sur la logique de décision de la MBF.

### I.3.3 Étapes de Maintenance

La mise en place d'un programme de maintenance planifiée se fait en quatre étapes, qui utilisent un bon nombre d'informations et de supports faisant référence à la production, à la qualité et à la maintenance. À travers ces étapes les groupes impliqués doivent en permanence déterminer les objectifs qui sont prioritaires et valider les résultats à toutes les phases [5] :

1. La première étape correspond à l'étude de l'ensemble des différents équipements de production de l'entreprise, elle a pour but de déterminer quels sont les sites à prendre en compte et les équipements à privilégier pour l'étude.
2. La seconde étape permet une analyse des défaillances des différents équipements étudiés. Les défaillances fonctionnelles sont étudiées et reliées aux défaillances des différents équipements qui les composent au point de vue mode de défaillance, de ses causes possibles et de ses effets sur les différentes fonctions de l'équipement.
3. La troisième étape permet de définir le type d'action qu'il faut mettre en place pour améliorer la sûreté de fonctionnement des équipements, ceci conduit à l'élaboration d'un planning et à la personnalisation des différentes tâches de maintenance.
4. L'étape 4 consiste en l'optimisation du plan de maintenance, retour d'expérience. La MBF consiste à déterminer les sites et équipements à étudier puis analyser les défaillances fonctionnelles. En suite elle s'intéresse à réaliser l'étude AMDEC puis établir un plan de maintenance optimal.

### I.3.4 Principes de Base de la MBF

Les principes de base de la MBF sont comme suit [13] :

1. Si les dispositifs de structure, la fonction et l'environnement d'application des équipements sont les mêmes ou semblables, puis leurs modes de défaillance et mesures sont habituellement étroits ou semblables.
2. Raisonnement cas-basé peut faciliter pour accomplir la récupération, l'adaptation et l'étude intelligentes de l'analyse semblable.



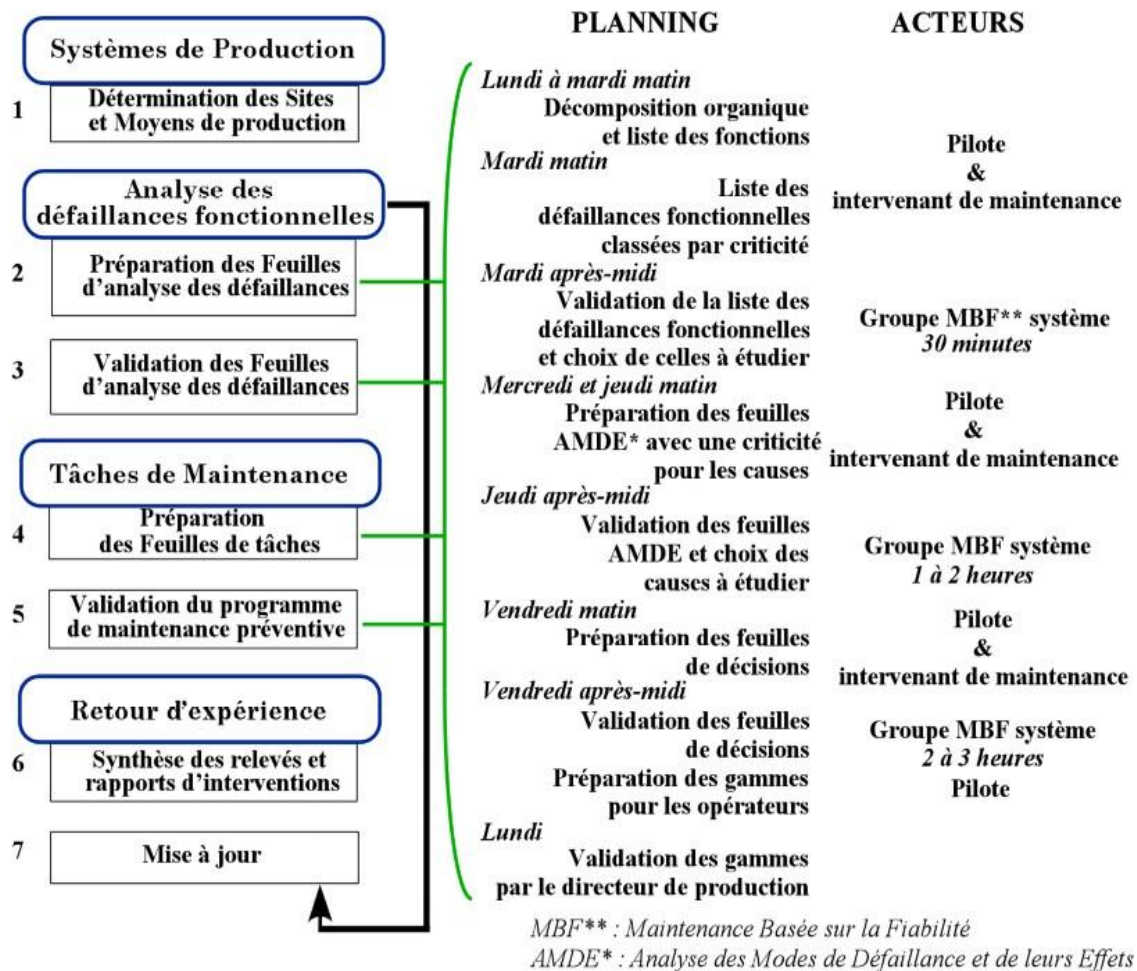
3. Quand les analystes conduisent l'analyse de MBF sur les équipements spécifiques, ils se réfèrent souvent aux fichiers historiques de l'analyse de MBF sur les articles semblables, et réalisent les résultats satisfaisants par l'adaptation des cas semblables.
4. Là sont habituellement les structures semblables dans la même catégorie d'équipement, et quelques pièces communes et mécanisme dans l'équipement différent de catégories. Par l'adaptation des cas d'analyse de MBF de ces articles, l'analyse répétée est réduite et l'efficacité d'analyse de MBF peut être améliorée.

### I.4 Programme de la MBF

La procédure globale préconisée par la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) pour établir **le programme de maintenance MBF comprend cinq étapes** [14] :

- 1) La première étape concerne les éléments nécessaires à rassembler avant d'entreprendre le développement du programme de maintenance MBF : objectifs recherchés, contenu de l'analyse, recensement des informations sur le système, définition des conditions de fonctionnement de l'entité, qualification et formation de personnes chargées des études et planification. Elle se concrétise par la rédaction d'un plan d'analyse et du contexte de fonctionnement.
- 2) La deuxième étape est consacrée à l'analyse des défaillances fonctionnelles. Elle fait appel au recueil et à l'exploitation du retour d'expérience, aux méthodes de décomposition fonctionnelle, à l'inventaire des fonctions de l'entité et à l'utilisation et la rédaction des AMDEC (analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité). Compte tenu du fait que les notions de sévérité et de criticité sont importantes à maîtriser pour l'identification des modes dominants de défaillance, les méthodes d'évaluation sont également détaillées.
- 3) La troisième étape est dédiée aux exigences relatives à la sélection des tâches de maintenance. Elle prend en compte les conséquences des défaillances, le choix d'une politique de gestion la plus appropriée et la plus efficace et la détermination de l'intervalle entre tâches. Des références aux outils analytiques disponibles pour la détermination des intervalles entre tâches de maintenance seront également présentées à l'aide de données statistiques issues du retour d'expérience.
- 4) La quatrième étape indique la procédure de mise en œuvre des tâches pour élaborer le programme de maintenance : détails sur les contenus, hiérarchisation, rationalisation des intervalles entre tâches et effet du vieillissement.

5) La dernière étape donne les lignes directrices pour l'amélioration continue du programme MBF en utilisant les données d'exploitation : contrôle de l'efficacité de la maintenance, contrôle des objectifs de sécurité opérationnels et économiques et évaluation de l'effet du vieillissement.



**Fig. I-1 :** Différentes étapes programmées dans le concept MBF.

### **I.5 Application de la MBF**

L'application des études d'optimisation de maintenance basée sur la fiabilité (OMF) passe par plusieurs étapes [15] :

- L'analyse fonctionnelle (représentations du fonctionnement des systèmes étudiés) ;
- L'analyse de dysfonctionnement des systèmes (modes de défaillance des équipements) ;
- L'analyse du retour d'expérience (données pour établir les choix de maintenance) ;
- L'analyse des dysfonctionnements des équipements (fournir les informations nécessaires à l'évaluation de la criticité des modes de défaillances) ;
- La sélection des tâches de maintenance (proposition des tâches élémentaires justifiées pour couvrir les modes de défaillance et écrire le programme de maintenance préventive).

### I.5.1 Critique des Stratégies de Maintenance

Une stratégie de maintenance peut être définie comme une règle de décisions qui établit la séquence des actions de maintenance à entreprendre en fonction du niveau de dégradation de l'équipement et des seuils acceptables d'exploitation. Chaque action de maintenance permet de spécifier l'utilisation des ressources appropriées [16].

Un coût est encouru pour effectuer chaque action de maintenance. Les performances d'un programme de maintenance défini par le processus OMF peuvent être obtenues après plusieurs années d'application, et entraîner éventuellement des modifications pour la mise en œuvre d'un programme. Pour éviter d'attendre à nouveau plusieurs années d'application avant d'obtenir ces informations, il semble nécessaire de pouvoir prédire l'évolution de la fiabilité des équipements et les conséquences de la mise en place du nouveau programme.

La modélisation du programme de maintenance, traduit l'objectif visé et les contraintes techno-économiques en fonction des variations de décisions et des paramètres qui caractérisent la stratégie considérée, et permet, entre autres, d'établir les conditions d'existence et d'unicité d'une stratégie optimale et d'effectuer des analyses de sensibilité. La prise en compte de tous les facteurs ayant un impact significatif sur la tenue de l'équipement et sur sa performance peut conduire à des modèles analytiques complexes et parfois difficiles à résoudre.

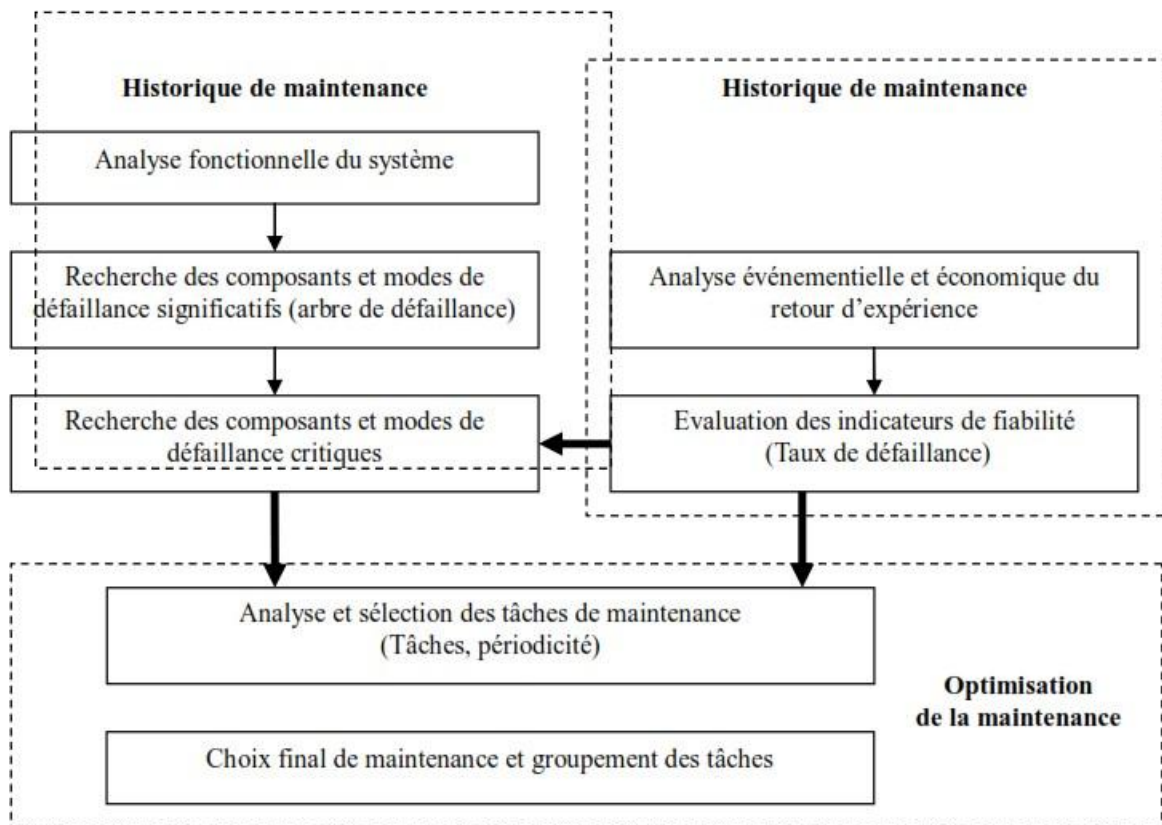


Fig. I-2 : Méthode d'optimisation base sur la fiabilité.

### I.5.2 Optimisation de la MBF

La méthode d'optimisation de la maintenance basée sur la Fiabilité constitue une approche globale d'aide à la décision pour déterminer les actions de maintenance préventive permettant de maîtriser les coûts et le niveau requis de disponibilité d'une installation ou d'un système, et plus largement, pour garantir un niveau de sûreté de fonctionnement [17]. C'est une démarche rationnelle qui vise à limiter au mieux les conséquences des défaillances d'origine matérielle, sur le fonctionnement de l'installation.

L'étude des systèmes et des matériels permet de déterminer :

- Ou les actions préventives sont nécessaires (sur quels matériels),
- Quand (avec quelle fréquence) on doit les réaliser,
- Quelles sont les actions à effectuer.

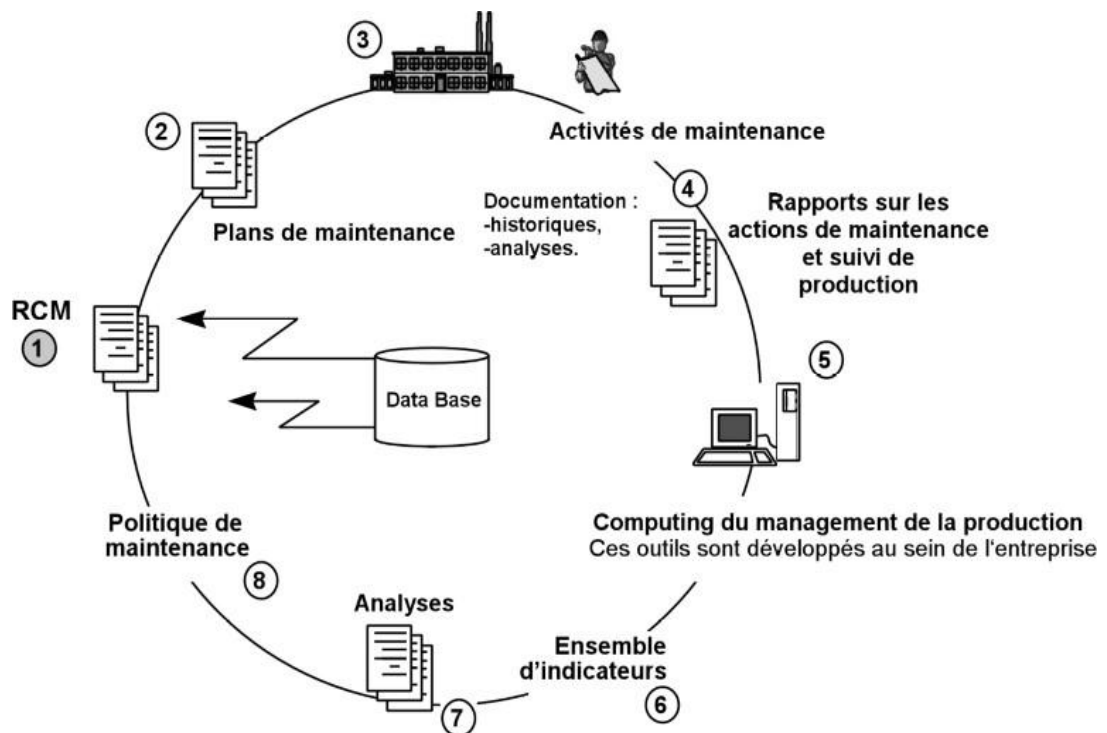


Fig. I-3 : Mise en place d'une boucle d'amélioration et d'un retour d'expérience [7].

Les objectifs de la maintenance basée sur la fiabilité sont la maîtrise des coûts et l'optimisation économique de la maintenance, suivant le principe : « exercer l'effort au bon endroit », la mise en œuvre d'une méthode structurée et rationnelle, analyse de chaque mode de défaillance fonctionnelle et l'utilisation du retour d'expériences pour réajuster les programmes de maintenance et leur pertinence. L'objectif de la MBF est de proposer une méthode structurée permettant d'établir un plan de maintenance sélectif à partir de la criticité des équipements, puis de leurs défaillances identifiées et cela à partir d'une démarche participative.

L'objectif principal de la maintenance basée sur la fiabilité est l'amélioration de la disponibilité des équipements sélectionnés comme critique ; améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif « allant à l'essentiel », mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance. D'autres objectifs sont recherchés comme la maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives ; la mise en œuvre d'une démarche structurée, par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises et la mise en œuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance [18].

La méthode s'appuie sur une démarche de type AMDEC et des matrices de criticité pour hiérarchiser les équipements, puis les causes de défaillances. L'utilisation ultérieure d'arbre de décisions permet de déterminer les actions à entreprendre dans le cadre d'un plan de maintenance préventive, ce qui permet par la suite à une étude type OMF.

### I.5.3 Maintenance dans une approche fondée sur la fiabilité

Ce concept utilise des données de fiabilité pour améliorer la conception et l'entretien futur des processus. Ces stratégies d'entretien, plutôt que d'être appliquées indépendamment, sont intégrées pour tirer parti de leurs compétences respectives afin d'optimiser l'efficacité tout en minimisant les coûts du cycle de vie des processus.

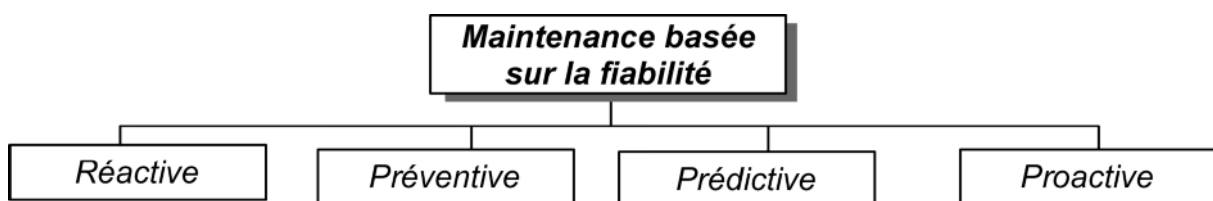


Fig. I-4 : Approche du concept MBF.

### I.5.4 Comportement des Équipements

Il est nécessaire de décrire la globalité du comportement des équipements, de manière à faire apparaître l'impact des conditions d'utilisation sur l'évolution des dégradations et ainsi l'occurrence des modes de défaillance en prenant en compte les tâches de maintenance réalisées. En connaissant les effets des conditions d'exploitation sur les performances du système, on peut quantifier l'impact d'une modification envisagée et décider alors d'optimiser le profil d'utilisation ou d'adapter le programme de maintenance aux nouvelles conditions de fonctionnement. [19]

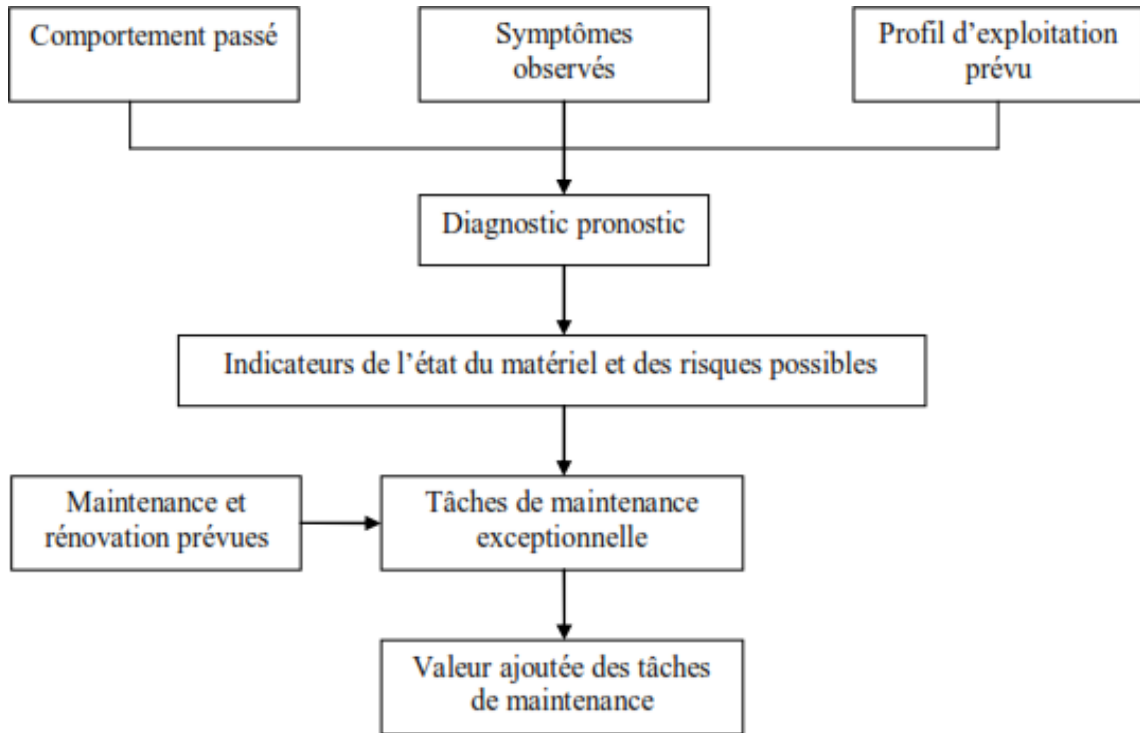


Fig. I-5 : Évaluation de la maintenance et état des équipements.

### I.5.5 Évaluation et États des Équipements

La connaissance de l'état d'équipement est utile pour la prévision de son comportement futur en fonction des conditions d'exploitation et au calcul du rapport coût/profit ainsi qu'à la hiérarchisation des priorités de l'action. Le classement peut être défini en se basant sur l'état du matériel à un instant donné [18]. Pour cela, on prend en compte le comportement du matériel en connaissant les phénomènes de dégradation et de défaillance ainsi que les tâches de maintenances réalisées. On simule ensuite son comportement futur afin de caractériser cet état.

### I.6 Conclusion

Ce chapitre a fourni un ensemble de recommandations à respecter pour mettre en œuvre une méthode de maintenance basée sur la fiabilité (MBF) et présente les procédures pour établir une politique de maintenance basée sur la fiabilité, après un rappel de ses origines et des définitions utilisées par la CEI, les étapes de la démarche préconisée sont détaillées ainsi que leurs applications, Dans le deuxième chapitre on va expliquer le concept de maintenance intelligente et les outils d'optimisation de la maintenance ainsi que la relation entre l'intelligence artificielle et la maintenance de fiabilité .

« ----- »

## **Chapitre II**

# **‘ Maintenance Intelligente et Outils d’Optimisation ’**



### II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons le concept de maintenance intelligente et sa relation avec l'intelligence artificielle. On va expliquer le concept de maintenance prédictive et son rôle dans le rythme de l'intelligence artificielle en apparaissant dans les ateliers de production, et comme suite logique des applications liées à la fabrication, dans les services de maintenance, la recherche continue de gains de productivité tout en maintenant définitivement la qualité maximale des pièces comprend l'amélioration de la fiabilité de chaque équipement de production, et le développement d'outils contribuant à l'amélioration La maintenance se fait par logiciel, dynamique et contrôle automatique.

La maintenance est donc affectée par ces nouvelles technologies, ce qui permettra de mieux suivre les installations industrielles en collectant autant de données que possible sur leur état de fonctionnement et leur santé, car la contribution à la maintenance a évolué pour atteindre la maintenance prédictive, ce qui exprime à propos de l'industrie intelligente.

### II.2 Maintenance Intelligente

Nous considérons comme une idée générale que la maintenance est intelligente est connue sous le nom de Les prévisions et la gestion intelligente sont ou sont Modèle de maintenance utilisant des outils scientifiques et algorithmes d'évaluation de l'état de santé actuel des systèmes de production, détection précoce des pannes initiales et prévision des performances utilisation future pour déduire que l'erreur suivante s'est produite, avec bien-être des informations telles que l'état actuel de l'équipement [20].

#### II.2.1 Définition d'un Système Intelligent

Un système de maintenance intelligent (IMS) est un système qui utilise les données recueillies sur les machines pour prévoir et prévenir les défaillances potentielles.

Les défaillances des machines peuvent être coûteuses et même catastrophiques. Afin d'éviter les pannes, il faut un système qui analyse le comportement de la machine et fournit des alarmes et des instructions pour la maintenance préventive. L'analyse du comportement des machines est devenue possible grâce à des capteurs avancés, des systèmes de collecte de données, des capacités de stockage/transfert de données et des outils d'analyse de données.

Ce sont les mêmes outils développés pour le pronostic. L'agrégation de la collecte, du stockage, de la transformation, de l'analyse et de la prise de décision pour la maintenance intelligente s'appelle un système de maintenance intelligent. (IMS) [21].



### II.2.2 Intelligence Artificielle

Les entreprises ont aujourd'hui plus que jamais, la possibilité d'accéder à des quantités de données liées à l'exploitation de leur parc machine. Le coût des dispositifs de connectés est en train de baisser régulièrement, leur exploitation intéresse de plus en plus les grandes et moins grandes entreprises afin d'optimiser leur processus.

Comme on pouvait s'y attendre, l'un des objectifs concerne l'un des points les plus stratégiques d'une entreprise possédant des actifs physiques : la gestion efficace de la maintenance. Le fait que ces technologies permettent la communication de machine à machine (M2M) et de machine à homme (M2H) est particulièrement intéressant. Cependant, le fait que les machines soient maintenant capables de penser intelligemment, d'apprendre, d'enseigner, de prendre des décisions et de réagir comme (voire même mieux) que l'homme, a lancé une occasion sans précédent pour améliorer les problèmes récurrents en maintenance.

Les nouvelles technologies comme l'intelligence artificielle (IA), l'apprentissage automatique, la réalité virtuelle (VR) et l'Internet des objets industriels (IIoT) suscitent un vif intérêt, afin de réduire les coûts et d'améliorer l'utilisation des machines et la sécurité des travailleurs [22].

### II.2.3 Gestion de la Maintenance

Dans un contexte de concurrence économique à l'échelle planétaire, la gestion de la maintenance est loin d'être stabilisée dans un environnement où l'automatisation et le processus de fabrication deviennent de plus en plus complexes [23].

Englobe toutes les activités visant au bon fonctionnement des équipements et des installations. En tant qu'activité de gestion, l'importance de la maintenance dans l'industrie a pris une importance renouvelée au cours des dernières décennies dans l'industrie, où l'on se rend désormais compte qu'un bon programme de maintenance peut avoir un impact majeur sur la qualité et la fiabilité.

Alors qu'il y a quelques décennies à peine, la maintenance était considérée comme un nécessaire, c'est aujourd'hui une fonction commerciale importante. Ce changement de perception a été influencé par l'augmentation du niveau d'automatisation, la plus grande complexité des produits et des équipements et, plus important encore, l'évolution de nouvelles philosophies de production, telles que la fabrication JIT (just in time), dans laquelle un dysfonctionnement inattendu des systèmes devient de moins en moins acceptables [24].

### II.2.4 Maintenance Prédicative

La maintenance prédictive est l'une des derniers types de maintenance et la plus économique car elle permet d'économiser des efforts et de l'argent et est un excellent moyen d'améliorer la productivité, la qualité des produits et les performances générales de l'institution et c'est le travail de maintenance qui fonctionne pour prévoir et anticiper l'apparition d'un dysfonctionnement avant qu'il ne se produise, grâce à la surveillance, à l'examen et à l'enregistrement continu, puis à le déterminer pour éviter sa propagation [25].

### II.2.5 Rôle de Maintenance Prédicative

Les entreprises spécialisées s'appuient sur la maintenance conditionnelle " Prédiction extrapolées à partir de l'analyse et de l'évaluation des paramètres importants de dégradation des biens " C'est une méthode de maintenance proactive, cela signifie que nous pouvons." Prédire l'échec et le découvrir avant qu'il ne survienne. Cela permet d'anticiper l'échec depuis une machine grâce à une surveillance continue et automatique. (Dans une grande mesure grâce aux données collectées par les capteurs et à travers l'analyse statistiques et probabilistes) pour ces données afin de déterminer une condition la santé et le besoin potentiel d'une intervention de maintenance des composants Spécial ou système. Par conséquent, la maintenance prédictive annule les actions Inutile peut être trouvé dans la maintenance préventive.

#### **Les trois étapes du processus de maintenance prédictive :**

La maintenance prédictive a la capacité de prédéterminer rapidement les anomalies, sans même démontage de l'appareil, capacité à éviter sa panne et planification de sa réparation ultérieure en d'autres termes, il ne sera interféré que lorsque cela est nécessaire en créant un fichier de diagnostic avant la réparation est programmé. La pratique de la maintenance prédictive comprend 3 phases :

1. Développement de la détection des défauts → Analyse des signaux.
2. Créer des diagnostics de machine de diagnostic.
3. Le concept de fiabilité du système de courbe de baignoire.

### II.2.6 Objectif de la Maintenance Prédicative

C'est le stade ultime de la maintenance, qui est exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (norme NF EN 13306). C'est une approche relativement récente qui repose, comme la maintenance conditionnelle, sur la technologie des capteurs mais privilégie l'évolution des informations qu'ils délivrent plutôt que le simple franchissement de seuils prédéterminés.

Elle est en effet, basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres qui permettent de qualifier l'état de bien, et de déceler les dégradations potentielles dès leurs apparitions de façon précise, et permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée au mieux des intérêts de la production, notamment en les intégrant, dans la mesure du possible, dans les arrêts techniques de fabrication. Cette planification se traduit par une réduction sensible des coûts de remise en état, et de la durée d'immobilisation de l'équipement et permet d'optimiser la gestion du stock de pièces de rechange elle est particulièrement adaptée aux dégradations progressives dont on ignore les seuils [26]

Les informations fournies par les outils de la maintenance conditionnelle peuvent être utilisées mais doivent être regroupées, ordonnées, corrélées. Seul un outil informatique tel qu'un système expert permet une gestion efficace tant au niveau de la synthèse de l'information collectée, des interactions entre les différents paramètres, de l'arborescence des causes de défaillances, qu'à l'élaboration d'éléments de décision permettant de limiter les opérations de maintenance au résultat requis [27].

### **Les avantages de cette maintenance :**

- Agir au plus près de l'apparition de la défaillance.
- Suivre des dégradations variables dans le temps.
- Automatiser et simplifier le plan de maintenance.
- Optimiser la fréquence des interventions de maintenance programmée.
- Anticiper et réduire les arrêts des lignes de production.
- Augmenter le taux de disponibilité des installations.

### **II.3 Relation entre L'intelligence Artificielle et la Maintenance**

Au cours de ces dernières années, de nombreuses tentatives ont été faites pour appliquer les techniques d'intelligence artificielle à la modélisation et gestion de la maintenance. L'utilisation de l'intelligence artificielle est avant tout une tentative de remplacer l'intelligence humaine par l'intelligence artificielle. Le but ultime est de parvenir à une gestion de la maintenance plus efficace et, dans certains cas, de faire de la réalisation de cet objectif [24].

#### **Applications de maintenance pour AI :**

**A- Le nettoyage :** Des robots sont utilisés pour effectuer un certain nombre de tâches de nettoyage, notamment dans les grands entrepôts. Grâce à l'apprentissage automatique, ces robots peuvent apprendre et apprendre par essais et erreurs sans interaction humaine. C'est une alternative intéressante au travail humain, en particulier pour les activités de nettoyage à haut risque telles que le nettoyage en hauteur et le nettoyage des conduits.

**B- La gestion des stocks** : la gestion automatisée des stocks permet de minimiser, voire d'éliminer, la nécessité de la vérification manuelle des stocks. L'erreur humaine et le temps perdu lors de la vérification de stocks importants d'articles sont alors supprimés. L'IA permet également le suivi de tout produit ou pièce de rechange en temps réel. Chez Ocado, un supermarché britannique en ligne, plus d'un millier de robots travaillent toute la journée pour répondre aux commandes. Des installations pourraient être développées dans un proche avenir où les pièces de rechange et autres articles de maintenance sont triés et distribués aux techniciens entièrement par des robots [22].

### II.4 Outils D'optimisation de la Maintenance

L'amélioration des performances des équipements passe par un changement d'organisation et de mentalité dans les ateliers.

#### II.4.1 Optimisation de la Maintenance

Une politique simple de maintenance ne peut éliminer toutes les défaillances et la maintenance préventive seule est insuffisante sans le contrôle de la qualité et la production. L'optimisation de la maintenance par la **gestion** de la qualité apporte les éléments nécessaires pour éviter ces défaillances qui peuvent altérer la qualité des produits finis ou du processus industriel. La qualité et la maintenance sont des éléments essentiels pour le bon fonctionnement de l'industrie et des services dans le but d'obtenir un niveau élevé de performance de l'entreprise. A cet effet, une approche innovante consistant à combiner la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) et la Maintenance de Productive Totale (TPM) est envisageable. De nos jours, peu de méthodes d'optimisation de la maintenance sont réellement opérationnelles dans les systèmes industriels. L'optimisation de la maintenance est un processus complexe du fait qu'il prend en considération différents critères qui peuvent être antagonistes [28].

#### II.4.2 Méthodes D'optimisation de la Maintenance

Au vu de l'importance du processus maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées. Elles permettent d'aider les responsables de maintenance à construire ou à modifier les stratégies de maintenance. L'étude de présente les principales méthodes d'optimisation des stratégies de maintenance en soulignant les différents objectifs qui ont guidé leur développement [29].

On peut noter que certaines méthodes d'optimisation de la maintenance ont été initialement développées dans les domaines de l'aéronautique et de la production d'énergie, en particulier pour les centrales nucléaires avant d'être adaptées et appliquées dans d'autres secteurs industriels. En effet, les risques présentés par ce type d'installations pour les personnes et l'environnement implique une vraie rigueur dans leur exploitation et leur utilisation. Il existe un réel souci d'appréhension des limites,

Pour réduire au maximum les dangers mais aussi diminuer les interventions inutiles. Ainsi, la sûreté et la sécurité ont été à la base des documents établis par le Maintenance Steering Group pour définir et décrire le programme de maintenance préventive du Boeing 747[30].

Ces objectifs ont également guidé la définition de la Reliability Centred Maintenance, et des méthodes de Risk-Based et Risk-Informed.

Les études de Reliability Centred Maintenance menées par l'Electric Power Research Institute pour l'industrie nucléaire américaine ont été principalement motivées par la maîtrise des coûts. La disponibilité est le facteur prépondérant dans la mise en oeuvre des actions Total Productive Management [31].

Les démarches d'optimisation de la maintenance consistent généralement à effectuer une analyse des risques ainsi qu'une étude du retour d'expérience de manière à pouvoir sélectionner les tâches de maintenance. Dans ce cadre, EDF a mis en oeuvre une démarche nommée OMF, aujourd'hui utilisée par d'autres secteurs industriels, et motivée par l'ensemble des critères techniques : sûreté – disponibilité – coûts.

### II.4.3 Outils D'optimisation

Les modèles d'optimisation de la maintenance peuvent être qualitatifs et quantitatif, la première cité comprend des techniques comme la TPM, la MBF, GMAO, tandis que le deuxième comprend plusieurs modèles stochastiques comme le modèle de Markov, les modèles Bayésiens, etc...Dekker et Scarf [32].

### II.4.4 Modèles D'optimisation Qualitatifs

#### A. La Technique GMAO

Une GMAO est l'outil indispensable à tout service maintenance en charge de maintenir un patrimoine constitué d'actifs de toute nature (bâtiments, outils de production, parc de matériels roulants, infrastructures, etc...).

### A.1 Définition

La gestion de maintenance assistée par ordinateur assure le planning des charges en donnant les dates initiales de lancement des fiches ou les gammes de maintenance préventive. Selon les concepteurs, les logiciels de GMAO offrent plusieurs manières de gérer l'ordonnancement [33].

### A.2 Démarches pour la Mise en Place d'une GMAO

#### ➤ **Réalisation du cahier des charges (surtout définir le besoin) :**

- Volume de l'inventaire Matériels à maintenir et documents d'équipement à informatiser.
- Degré de sophistication du logiciel (plus il est performant plus il est complexe à utiliser)
- Statistiques : calculs à réaliser, niveau de diagnostic souhaité, exportation du fichier vers Excel par exemple, etc.
- Personnes qui sont appelées à l'utiliser : situation géographique, niveau en informatique, service de rattachement.
- Définir les éditions que l'on souhaite réaliser
- Niveau de complexité de l'environnement industriel : simple ou multisite, un ou magasins.
- Mise en réseau souhaitée (SQL, SAP, etc.)
- Définir le budget à allouer (hard –matériel- et soft –logiciel-, formation, maintenance)
- Définir le temps alloué à la mise en place (installation, formation, soutien extérieur)
- Définir le préventif à suivre (plan de maintenance)
- Définir le suivi Magasin à réaliser.
- Définir les documents (et leurs contenus) utiles au déroulement du processus de maintenance (Avis, DT, AT), y compris sécurité (permis de feu, consignations CO2)
- Recenser les outils en place (GMAO existante, saisie papier ou Excel des interventions), définir s'il faut les exploiter.
- Définir le suivi informatique pour la bonne exploitation du logiciel (mise en place, maintenance hard et soft).
- Définir les moyens de sauvegarde et d'archivage.
- Développement spécifique ou achat d'un logiciel.

#### ➤ **Choix du logiciel**

- Orientation vers un logiciel ou un ensemble de logiciels (GMAO, graissage, gestion stock) avec les interfaces nécessaires.
- Choisir un prestataire de services informatiques si pas de compétences en interne.

### ➤ Mise en place

- Installation hard et soft.
- Essais ce document est conçu et diffusé par [www.ingexpert.com](http://www.ingexpert.com).

### **Les formations à prendre en compte sont les suivantes :**

- Formation générale à l'informatique (système d'exploitation Windows par exemple)  
Formation spécifique au logiciel
- Remise d'un cours à chaque personne o Veiller à ce que les personnes exploitent leurs nouvelles connaissances très rapidement après la formation, prévoir période d'accompagnement.

## A.3 Utilisation et Exploitation de la GMAO

### ➤ Au préalable :

- Saisie de l'inventaire COMPLET du matériel.

### ➤ Utilisation de la GMAO :

- Saisie des Demandes d'Intervention et des Ordres de Travaux.
- Saisie des comptes rendus d'intervention et clôture.
- Saisie des alarmes pour les interventions préventives.
- Autres saisies.
- Réalisation / éditions des statistiques. (Indicateurs, etc...)
- Archivages/sauvegardes [34].

### ➤ Exploitation de la GMAO :

- Accroître l'efficacité de la maintenance curative.
- Développer et organiser la maintenance préventive.
- Optimiser les achats, les stocks et les budgets.
- Historier les interventions pour des analyses techniques et financières.
- Mettre en place des procédures (normes ISO, audits, etc.).
- Une GMAO permet d'augmenter la fiabilité et la disponibilité des actifs pour gagner en efficacité, productivité et compétitivité.
- La GMAO doit être considérée comme un véritable outil d'aide à la décision qui permettra l'optimisation des ressources humaines, matérielles et financières.

### A.4 Progiciels de GMAO

La prolifération de produits GMAO lors des dernières années entraîne un regroupement des entreprises, cet aspect étant à prendre en compte par les acheteurs (critère de pérennité des produits et de l'entreprise). On peut distinguer les produits informatiques suivants :

- Les GMAO « Industrie », les plus nombreuses ;
- Les GMAO « Parc », destinées à la gestion d'une « flotte » de véhicules ou d'engins ;
- Les GMAO « SAV », destinées à la gestion des services après-vente ;
- Les GMAO « Tertiaire », dont une sous-famille est dédiée spécifiquement à la maintenance hospitalière.
- A côté de ces GMAO sont proposés des produits logiciels connexes spécialisés comme des supervisions, en particulier de type GTC (Gestion Technique Centralisée).
- Certains modules de GMAO permettent l'interfaçage avec les supervisions techniques de façon à intégrer les signaux et les mesures.
- Des logiciels de gestion de projets, dont certains sont dédiés spécialement à la gestion des grands arrêts de maintenance ;
- Des systèmes experts d'aide au diagnostic et au dépannage ;
- Des générateurs d'analyses fonctionnelles et d'AMDEC ;
- Des produits d'analyses vibratoires de machines tournantes ou d'images thermiques ;
- Des systèmes de saisie par codes à barres.

En dehors des logiciels commercialisés sur le marché en France, les logiciels de GMAO développés avec l'aide de services internes (grandes entreprises) ou avec recours à entreprise de service informatique représentaient, en 1998, 40% des GMAO en exploitation [35].

### B. La Technique TPM

Comme son nom l'indique, la Total Productive Maintenance est une activité de maintenance à participation globalisée inscrite dans une dynamique productive.

#### B.1 Définition

Le TPM est un système global de maintenance industrielle basé sur le respect des facultés humaines et la volonté participative de tous les employés d'augmenter la rentabilité des installations. Ce système importé du Japon vise à éliminer les principales sources de pertes de production afin de réaliser efficacité optimale de l'équipement. La démarche TPM repose notamment sur des mesures de maintenance préventive et sur la prise en charge par les opérateurs de la maintenance de leurs propres appareils [36].



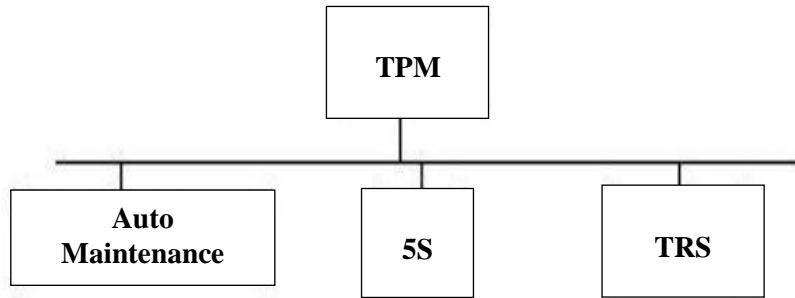


Fig. II-1 : Les parties de TPM.

### B.2 Objectifs du TPM

Le TPM est basé sur l'amélioration continue de la fiabilité et de la productivité des machines (C.-à-d. Efficacité du système de production) par [35] :

- L'amélioration du rendement des installations,
- La mise en place d'une maintenance préventive,
- La gestion autonome des équipements,
- L'amélioration des compétences,
- L'intégration dans les standards de conception des solutions reconnues efficaces.

### B.3 Conditions de mise en place de la TPM

L'adoption d'une politique de TPM crée un changement sensible dans les habitudes de travail, principalement dans les ateliers. Un certain nombre de conditions sont donc nécessaires pour envisager la mise en place d'une TPM [35] :

- Avoir un système de management participatif.
- Le travail de groupe doit être très développé
- Les postes de travail doivent être stables
- Le parc de documentation doit être existant et utilisable facilement
- La communication entre la production et la maintenance doit être bonne
- Le personnel de fabrication doit être intéressé (formé).

### B.4 Etapes de la TPM

- 1) Constitution des groupes de progrès (par machine).
- 2) Formation du personnel.
- 3) Nettoyage et rangement (démarche 5S).
- 4) Mesures de TRS.
- 5) Auto-inspection.
- 6) Auto maintenance. [37]

### B.5 Mise en œuvre de la TPM

- **Initialisation :**
  - Mise en place d'indicateurs pour mesurer la fiabilité des machines.
  - Nettoyage des machines avec définition des règles.
  - Programme TPM après diagnostic issu des indicateurs ci-dessus.
- **Déploiement :**
  - Lancement : faire comprendre au personnel l'ensemble du programme TPM.
  - Identification et élimination des causes d'aléas.
  - Mise en place de la maintenance préventive.
- **Consolidation :**
  - Evolution des standards de conception : retour d'expérience à faire envers les
  - Concepteurs de machine pour intégrer les solutions aux standards de conception.
  - Mise en place d'un système d'audit pour vérifier que le dispositif prévu dans le programme TPM est bien compris, appliqué et reste efficace [37].

### B.6 Tâches de l'auto maintenance

La délégation de certaines tâches se fait progressivement et l'organisation est bâtie collectivement, par l'ensemble des acteurs, lors d'échanges au cours de cercles TPM :

#### ➤ **Le nettoyage :**

Il permet de repérer des anomalies dans tous les domaines :

- Electrique : fil desserré, isolant endommagé, surchauffe locale, ...
- Pneumatique, hydraulique : fuite (huile ou air), pincement de tuyau, vérin endommagé,
- Mécanique : desserrage, début de rupture, usure, blocage, corrosion, fissure, rayures, ...

#### ➤ **Le graissage :**

Pour les systèmes à dominante mécanique, un graissage convenablement pratiqué est une garantie de bon fonctionnement.

#### ➤ **Les resserrages :**

Jugés nécessaires lors d'inspections, de nettoyages ou en marche normale, ils sont effectués dès le constat. Les desserrages, par les vibrations qu'ils permettent, sont souvent en cause dans des dérives de qualité ou l'apparition des défauts fortuits inexplicables.

#### ➤ **Les inspections quotidiennes**

Elles sont de préférence pratiquées, avant la mise en œuvre. A partir d'une liste d'opérations, l'opérateur procède à une série de contrôles visuels, manuels avec ou sans appareillage, pour déceler l'apparition d'un paramètre non conforme et donc potentiellement source d'incident [38].

### B.7 Indicateurs de la TPM

➤ **TRS « Taux de Rendement Synthétique »**

Le TRS est un outil qui permet d'évaluer la qualité de l'ensemble du processus de production. On montre, par le calcul de divers indicateurs, les points à améliorer et leur influence sur le processus complet.

$TRS = Tu / Tr$  Avec Tu : Temps utile, Tr : Temps requis.

$TRS = T_{DO} \times T_P \times T_Q$  Avec  $T_{DO}$  = Taux de disponibilité opérationnelle ( $T_{DO} = Tf / Tr$ ).

$T_P$  = Taux de performance ( $T_P = Tn / Tf$ ),  $T_Q$  = Taux de qualité, ( $T_Q = Tu / Tn$ ).

**Analyse de l'efficience** Somme de 3 coefficients dont 1 concerne la maintenance : B / A [38].

Temps d'ouverture		
A = Temps de charge (temps requis)		Arrêts programmés
B = Temps brut de fonctionnement		Arrêts
C = Temps net de fonctionnement	Ralentissements	
D = Temps utile de fonctionnement	Défauts	

Fig. II-2 : Somme de 3 coefficients dont 1 concerne directement la maintenance.

➤ **TRG « Taux de Rendement Global »**

Le rendement global des machines est l'indicateur de leur bonne santé. Le TRG est le rapport entre la quantité de produits bons fabriqués et la quantité de produits que l'on aurait pu fabriquer dans les conditions idéales (conditions sans aléas, sans perte d'efficacité) [37].

**Les 6 principales causes des pertes de rendement sont :**

- Les pannes : arrêt ou dégradation de la fonction.
- Les préparatifs et réglages.
- Les arrêts mineurs et marche à vide : ce sont les arrêts inférieurs à 5 ou 10 mn.
- Les ralentissements : le régime de production est inférieur au régime nominal.
- Les défauts qualité et réparations.
- Les redémarrages (amélioration du changement d'outillage).

$TRG = Tu / To$  Avec Tu : Temps utile, To : Temps d'ouverture.

➤ **TRE « Taux de Rendement Economique »**

Le TRE est l'indicateur d'engagement des moyens de production et permet au dirigeant d'affiner la stratégie d'organisation de l'entreprise.

$TRE = Tu / Tt$  Avec Tu : Temps utile, Tt : Temps total.

### ➤ Le principe 5 S

Un travail efficace et de qualité nécessite un environnement propre, de la sécurité, et de la rigueur. Les **5 S** permettent de construire un environnement de travail fonctionnel, régi par des règles simples, précises et efficaces. Les **5 S** sont la fondation sur laquelle bâtir une démarche de progrès, déployer les outils et méthodes du (Lean manufacturing) et sont un levier du management du changement. Les **5 S**, règles de base de l'ordre de la discipline, sont les préliminaires incontournables pour tout projet d'amélioration. Partant du principe que *Les pertes sont des bénéfiques potentiels*, éliminer les pertes constitue un gain. Il n'y a pas d'amélioration réelle de productivité ou de qualité si par ailleurs subsistent des gaspillages.

**Tableau II-1** : Les cinq S représentent les cinq premières lettres des mots japonais.

	<b>Traduction Littérale</b>	<b>Traduction Utile</b>
<i>Seiri</i>	Ranger	Supprimer l'inutile
<i>Seiton</i>	Ordre, arrangement	Situer les choses
<i>Seiso</i>	Nettoyage	Scintiller
<i>Seiketsu</i>	Propre, net	Standardiser
<i>Shitsuke</i>	Education	Suivre

La TPM utilise le principe des 5 S développé au Japon. Le 5S permet d'obtenir rapidement une entreprise « claire ». Cette méthode est applicable dans tous les secteurs de l'entreprise. Elle se déroule en 5 étapes dont les noms japonais commencent par un 'S' :

- **SEIRI** (ordre) : éliminé les choses inutiles, débarrassé.
- **SEISO** (pureté) : nettoyer, veiller à la clarté du rangement.
- **SEIKETSU** (propreté) : définir les règles de propreté et de rangement.
- **SHITSUKE** (rigueur) : respecter les règles de propreté et de rangement et progresser.
- **SEITO** (netteté) : ranger de façon judicieuse, tenir propre : Une place pour chaque chose et chaque chose et chaque chose à sa place.

### B.8 Lean maintenance et TPM

La Lean Maintenance est une démarche TPM optimisée et axée sur la réduction, voire l'élimination du gaspillage relié aux équipements et à leur utilisation. Le but de la Lean Maintenance est d'obtenir le meilleur rendement des équipements, à moindre coût. Quelques domaines d'améliorations de la Lean maintenance :

- Faciliter la maintenance préventive pour les activités et équipements critiques.
- Mettre en place des formations polyvalentes des équipes.
- Encourager et permettre à tous les intervenants d'avoir des initiatives d'améliorations.
- Optimiser la gestion des pièces détachées afin qu'elles soient disponibles pour les maintenances préventives et correctives.

### II.4.5 Modèles D'optimisation Quantitatifs

#### A. Approche de Simulation la Chaîne de Markov

La technologie de la chaîne de Markov est considérée comme un outil pour prédire la maintenance appropriée des machines qui aident les gestionnaires à prendre des décisions organisationnelles. Le processus de Markov est un outil pour prédire la possibilité de prendre des décisions rationnelles et précises sur divers aspects de la gestion à l'avenir. Une nouvelle méthodologie est en cours de mise en œuvre pour déterminer les probabilités de transition dans le processus décisionnel de Markov. Il fournit également trois suggestions pour la maintenance de l'usine et identifie la meilleure usine pour l'aide à la décision

#### B. Objectif de la Chaîne de Markov

Étape d'acquisition de données (collecte d'informations), pour obtenir des données pertinentes pour le système. En utilisant les principaux cas courants de machine, le modèle de probabilité de Markov du premier ordre utilisé dans cet article est supposé avoir les caractéristiques suivantes. Premièrement, il existe une population d'individus qui se déplace parmi un ensemble fini d'états différents dans une séquence d'essais  $t = E1, E2, E3, E4$ . Pour un échantillon de taille  $N$  de la population, il y a cinq ans ( $5 \times 365$ ) jours d'observation qui changent dans le temps selon des chaînes de Markov homogènes dans le temps indépendantes et identiquement distribuées avec des états  $E_i$ . La variable aléatoire discrète  $X_t$  ( $E_t = E1, E2, E3, E4$ ) peut être utilisée pour représenter l'état d'un individu dans la population. Où :  $E1$  : Le cas où la machine fonctionne en excellent état  $E2$  : Il y a de simples défauts mais ne font pas arrêter la machine et sa production à plus de 70 % par rapport au cas 1.  $E3$  : Il y a un défaut majeur et rend la machine de production inférieure à 70 % du cas 1.  $E4$  : Il y a / il y a des défauts principaux et la machine est arrêtée. Étape de traitement des données (traitement de l'information), pour traiter et analyser les données ou signaux collectés sur les différents cas de machine pour une meilleure compréhension et interprétation des données [21].

### **C. Optimisation Multi-objectifs et Modèle de Système Dynamique**

En appliquant l'optimisation multi-objectifs (MOO) au moyen de la dynamique des systèmes (SD), le modèle SD étudie le développement stratégique des performances de maintenance, en utilisant une vue système des coûts de maintenance, tandis que la mise en œuvre MOO évalue plusieurs cycles de simulation et recherche des compromis simultanés.

Pour les trois objectifs contradictoires :

- Disponibilité accrue.
- Réduire les coûts de maintenance.
- Réduire les coûts en aval des coûts de maintenance.

L'application d'une approche d'optimisation intégrée basée sur la simulation révèle de multiples analyses du comportement du système de modèle SD, qui est présentées dans un format compressé au décideur. En effet, malgré l'application au modèle conceptuel, les résultats de l'étude démontrent la non-linéarité entre le coût de maintenance investi et ses implications. En outre, l'approche démontre la contribution au processus d'amélioration de l'utilité du modèle conceptuel de performance de maintenance [38].

### **II.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons traité la maintenance intelligente et de ses différents mécanismes d'amélioration, et nous avons présenté des modèles qui permettraient d'améliorer et d'augmenter l'efficacité de production des entreprises en exploitant les avancées technologiques et l'automatisation en appliquant des algorithmes, des programmes et de l'intelligence artificielle pour permettre aux machines de penser intelligemment, apprendre, enseigner et prendre des décisions, car ils contribuent à améliorer les problèmes, réduire les coûts et améliorer la convivialité des machines et la sécurité des travailleurs.

« \_\_\_\_\_ »

## Chapitre III

**‘Étude de Cas : Application de la MBF pour  
une Pompe Centrifuge d’un Complexe de  
Production des Engrais’**

### **III.1 Introduction**

Dans les entreprises industrielles le plan maintenance fournie par le constructeur avec les équipements est standard, et non économique ou non satisfaisant avec la charge de travail de la machine, le responsable de maintenance préventive qu'il convient avec les moyens disponibles. La maintenance basée sur la fiabilité est processus utilisé pour élaborer un plan de maintenance préventive optimise et pour réduire la probabilité de défaillance fonctionnelle. L'objectif de ce travail est l'amélioration de la politique de la maintenance par la maintenance basée sur la fiabilité, en identifiant d'abord les matériels critiques dont les conséquences de l'entreprise (sécurité, disponibilité, fiabilité, maintenabilité ...).

### **III.2 Présentation de l'Entreprise**

FERTIAL est organisé sous la forme d'une Société Par Action (SPA), 66% groupe Espagnol Villar Mir, 34% ASMIDAL Algérie qui représente un capital social de 17.697.000.000.00 DA. Sa durée de vie et de 99 ans. L'ensemble des installations de FERTIAL SPA, se trouve sur la plateforme chimique, située au Sud-est de la ville d'Annaba. Le complexe est entouré au Nord-est par la méditerranée, au Sud-est par l'Oued Seybouse et la cité Sidi-Salem, au Sud-ouest par la route des salines et par cité de El-BOUNI et au Nord-ouest par L'oued BOUDJIMA et la cité Seybouse. Elle est structurée en une direction générale, une direction fonctionnelle, et deux directions opérationnelles, avec une capacité de production de 330.000Tonnes d'ammoniac et de nitrate d'ammoniac, 900.000Tonnes engrais phosphatés. [43]

#### **III.2.1 Historique de l'Entreprise**

En 1986 ASMIDAL a été dans le cadre de la restriction des entreprises publiques et économiques, issu de la société mère SONATRACH, sa vocation principale est la production des engrais, la distribution et commercialisation l'exportation de l'ammoniac vers les pays arabes, les pays africains ainsi qu'à travers les pays méditerranéens ;

En 1996, ASMIDAL est devenu entreprise publique au capital de 2275.000.000 DA. Le publique de restriction d'ASMIDAL s'est déroulée en trois phases. Création et d'une nouvelle organisation permettant la pratique d'un plan social afin de déduire la main d'œuvre dont l'effectif dépasse 2088 personnes et en développe le système informatique. Création de nouvelles sections pour la production des engrais et de l'ammoniac (KIMIAL FERTIAL) ce qui permet à ASMIDAL, d'être en 2001 parmi les sociétés les plus cotées à l'échelle nationale et internationale, elle est classée 7ème mondiale dans l'exportation de l'ammoniac.

En 2001, elle réalisé un chiffre d'affaire de 12 milliards de dinars dans l'exportation des engrais soit l'équivalent de 64 millions dollars. [43]



### III.2.2 Différentes Unités de l'Entreprise

Le complexe Fertial comporte deux zones de production, une zone nord destinée à la production d'engrais azotés et une zone d'engrais pour la fabrication des engrais phosphatés.

Dans la zone sud, on trouve l'unité UNA qui produit un engrais liquide appelé Uréammonitrate, l'unité SSP productrice du super simple phosphate et de l'unité NPK spécialisée dans la fabrication du triple superphosphate (TSP), du phosphate d'ammonium (MAP et DAP) et l'engrais triple (NPK). Et dans la zone nord, on trouve l'unité nitrate d'ammonium, l'unité ammoniac (NH<sub>3</sub>), l'unité acide nitrique et la centrale II. [43]

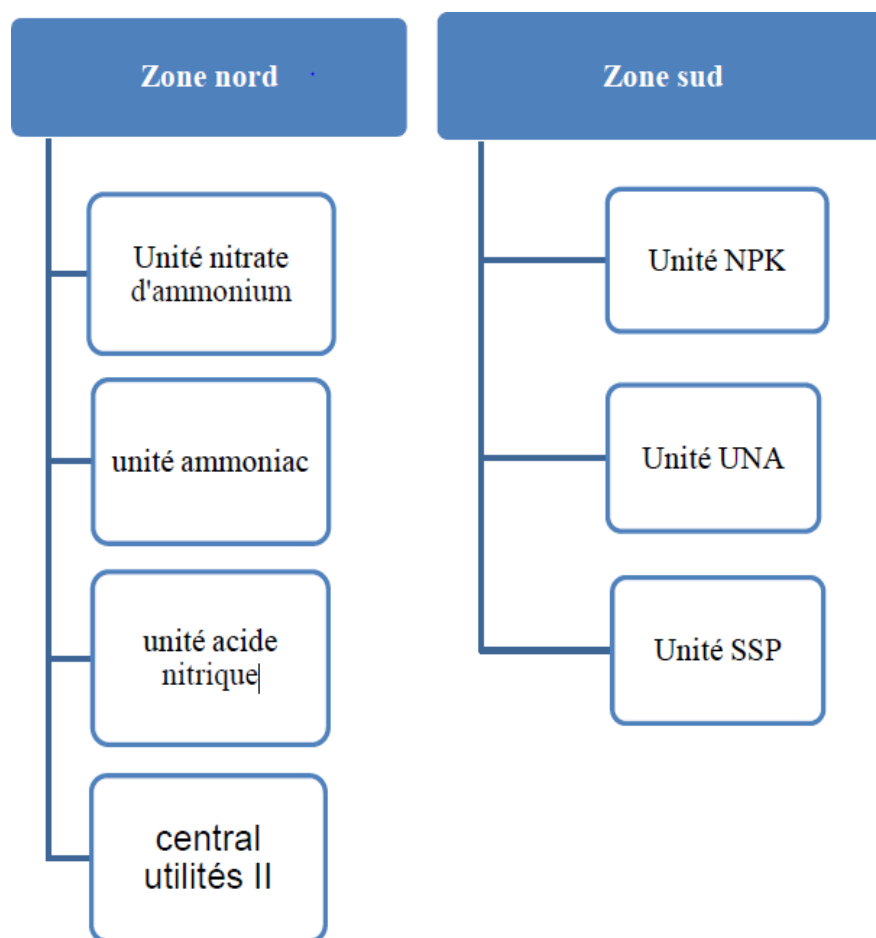


Fig. III-1 : Différentes unités du complexe FERTIAL.

### III.2.3 Objectifs de l'Entreprise

Dans le cadre du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- ❖ Développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière.
- ❖ Promouvoir et développer l'industrie des engrais et produit phytosanitaires.
- ❖ Exploiter, gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers.
- ❖ Favoriser l'épanouissement de l'esprit d'imagination et l'initiative.
- ❖ Faire appel aux moyens locaux.

### III.3 Problématique

Les machines tournantes sont largement utilisées dans l'industrie pétrolière et pétrochimique, ils accélèrent les cycles de production. La pompe 104 J destinée à faire fonctionner un système de production de la vapeur à partir de l'eau distillée. Elle conçue pour alimenter une turbine de production de vapeur dans un système de production d'ammoniac de l'entreprise FERTIAL.

Pour éviter les arrêts et les défaillances de la pompe il faut faire une étude fiabiliste pour l'amélioration en bon maintenance. La pompe 104 J est une machine tournante joue un rôle très important dans l'unité d'ammoniac, un arrêt conduit à l'arrêt total de l'unité.

**Dans ce cas-là l'objectif de ce travail est :**

- ❖ Comment étudier la fiabilité de cette pompe ?
- ❖ Quelle solution on peut trouver pour améliorer ?

### III.4 Notions de Base

On appelle turbomachine un appareil dont le rôle est d'assurer un échange d'énergie mécanique entre un débit permanent de fluide et rotor tournant à vitesse constante autour d'un axe [39]. Selon le sens de l'échange d'énergie, la turbomachine est appelée :

- A. Génératrice** : lorsqu'elle communique de l'énergie au fluide (Ex : pompe centrifuge), donc elle doit être nécessairement accouplée à une autre machine jouant un rôle de moteur (moteur électrique, moteur diesel, turbomachine réceptrice).
- B. Motrice** : lorsqu'elle en reçoit de l'énergie du fluide (Ex : turbine à vapeur) pour entraîner une machine génératrice (alternateur ou turbomachine génératrice).

Les pompes sont, après les moteurs électriques, les machines le plus banalement utilisées aussi bien sur le plan industriel que dans le domaine domestique. Dans la plupart des cas, il s'agit de pompes de construction courante pour lesquelles l'utilisateur peut trouver les renseignements et les indications concernant ce matériel dans les catalogues de constructeurs [39].

#### III.4.1 Définition des Pompes

Une pompe est une machine hydraulique qui aspire et refoule un liquide (l'eau, l'huile, l'essence, les liquides alimentaires, etc. ...). D'un point à un endroit voulu [40]. La pompe est destinée à élever la charge du liquide pompé.

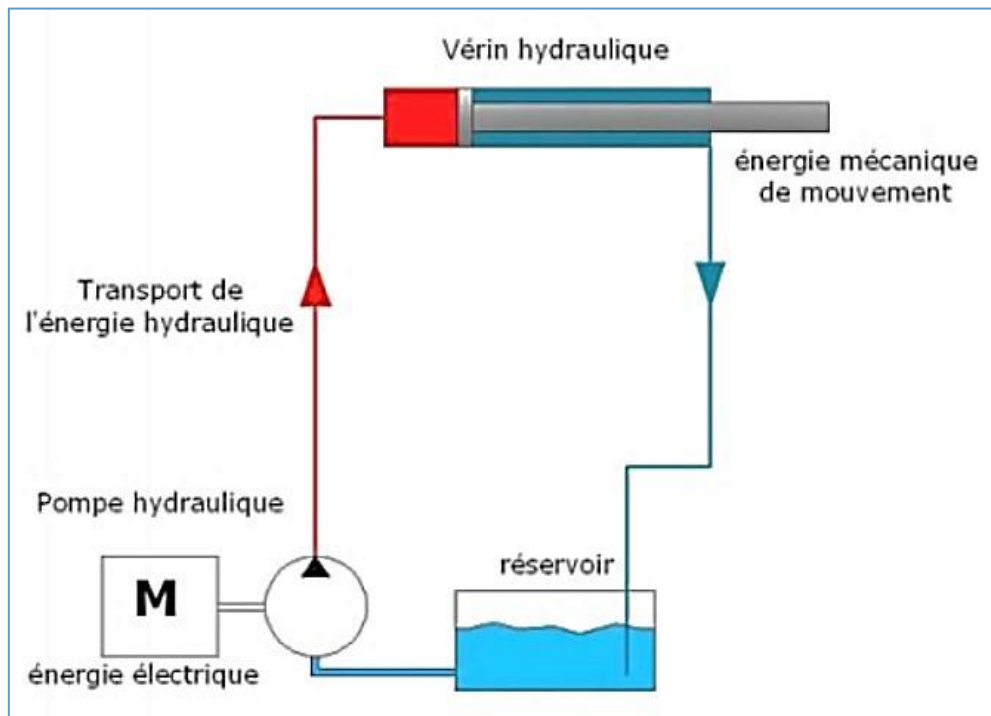
**La charge ou l'énergie est la somme de trois catégories d'énergie :**

- ❖ Energie cinétique.
- ❖ Energie potentielle.
- ❖ Energie de pression.

C'est donc un appareil génère une différence de pression entre l'entrée et la sortie de la machine.

**L'énergie requise pour faire fonctionner une pompe dépend [40] :**

- ❖ Des propriétés du fluide : la masse volumique, la viscosité dynamique,
- ❖ Des caractéristiques de l'écoulement : la pression, la vitesse, le débit volume, la hauteur,
- ❖ Des caractéristiques de l'installation : la longueur des conduites, le diamètre et la rugosité.



**Fig. III-2 :** Schéma d'une Pompe Hydraulique.

### **III.4.2 Fonctionnement des Pompes**

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue, ...etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique [42].

### **III.4.3 Classification des Pompes**

Suivant les modes des déplacements des liquides à l'intérieur des pompes, on classe ces dernières en deux grandes familles :

- ❖ Les turbopompes
- ❖ Les pompes volumétriques

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. Si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges [41].

### III.4.3.1 Turbopompes

Les turbopompes sont des pompes **centrifuges** ou **axiales**. Dans les pompes centrifuges, le mouvement du liquide est assuré par la rotation rapide de la roue à tubes (sous l'action des forces centrifuges). Dans les pompes axiales, le liquide se déplace la longe de rotation des roues à aubes. **On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :**

- ❖ **L'aspiration** : Le liquide est aspiré au centre du rotor par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée du rotor [41]. La pompe étant amorcée, c'est à dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage [41].
- ❖ **L'accélération** : Le rotor transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique. A la sortie du rotor, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie. La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression [41].

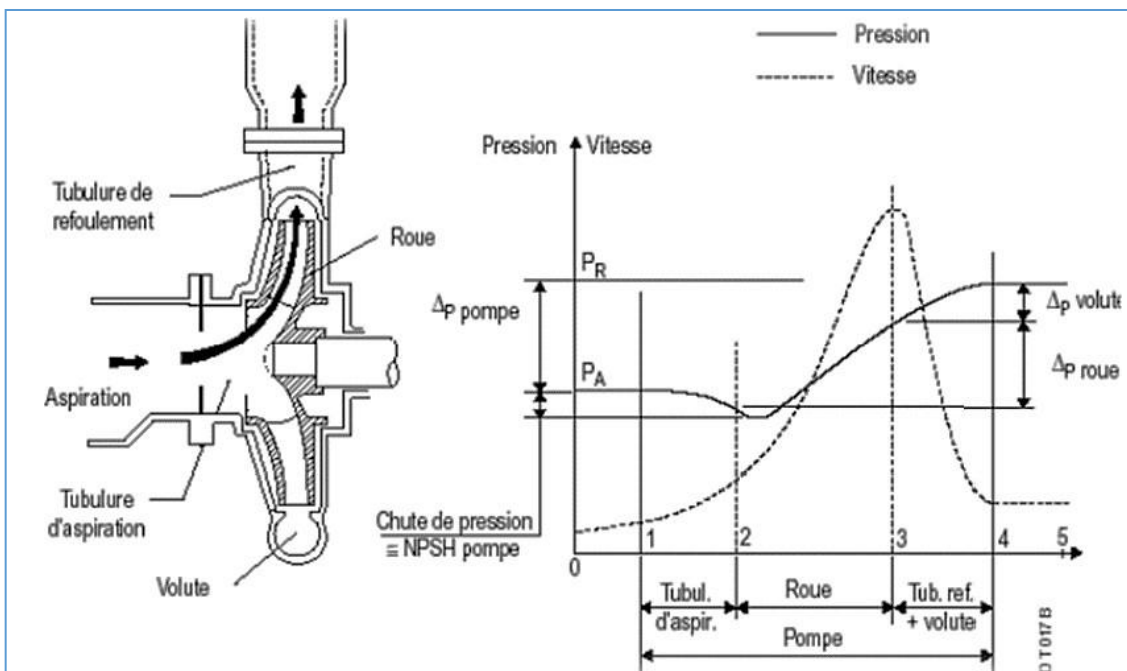


Fig. III-3 : Évolution de la vitesse et de la pression dans la pompe.

### III.4.3.2 Pompes Volumétriques

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Ce déplacement est cyclique. Pendant un cycle, un volume de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé.

Une pompe volumétrique est constituée :

- ❖ D'un corps fixe ou stator.
- ❖ D'éléments mobiles pour le déplacement de fluide dans la pompe.
- ❖ D'autres éléments mobiles destinés à mettre en mouvement les éléments précédents.



Fig. III-4 : Fonctionnement de quelques types de pompe volumétrique.

Les pompes volumétriques sont des pompes **alternatives** ou **rotatives**. Dans les pompes alternatives, le mouvement du liquide s'effectue par le mouvement rectiligne alternatif du piston (membrane) entraîné par le mécanisme bielle-manivelle. Dans les pompes rotatives, le mouvement du liquide est effectué par la rotation de l'élément de refoulement (engrenage : à vis sans fin ; à palettes etc. ...)

Pour ce type de pompe l'entrée et la sortie sont non communicantes grâce à une étanchéité interne, ainsi les fuites seront minimales et les pressions importantes. Une pompe volumétrique fonctionne en prélèvement en un volume  $V_0$  du fluide contenu dans la conduite d'arrivée pour l'emprisonner dans un espace avant de le pousser vers la sortie de pression. La dépression que ce prélèvement provoque fait que le fluide se mette en mouvement vers la pompe et fait de la pompe volumétrique une pompe auto amorçante [42].

### III.5 Généralités sur les Turbopompes

Les machines tournantes sont des appareils dans lesquels il y a un transfert d'énergie mécanique entre un fluide et une roue mobile. Une machine destinée à communiquer de l'énergie au fluide est une pompe dans le cas d'un liquide, un compresseur dans le cas d'un gaz. Une turbine est une machine qui permet de transformer l'énergie d'un fluide en énergie mécanique. Une turbomachine est une machine tournante qui réalise un transfert d'énergie entre son arbre propre, et un fluide en mouvement, ce transfert peut s'effectuer dans les deux sens :

- ❖ Une récupération de l'énergie du fluide sur l'arbre de la machine (pompes centrifuges).
- ❖ Une augmentation de l'énergie du fluide par fourniture d'énergie mécanique sur l'arbre de la machine (réalisée par les machines de type compresseur, ventilateur, pompe ...).

Les machines tournantes telles que les turbopompes sont largement utilisées dans l'industrie pétrolière et pétrochimique, ils accélèrent les cycles de production.

### **III.5.1 Pompes Centrifuges**

Les pompes centrifuges sont des machines réceptrices, qui transforment l'énergie mécanique fournie par le moteur d'entraînement en énergie de pression. Elles sont considérées les plus répandues dans l'industrie pétrolière et pétrochimique, et sont largement utilisées dans les systèmes : automatique ; hydraulique ; pneumatique et surtout dans les stations de pompages (expédition et injection des produits pétroliers), etc. ...

Le rôle des pompes centrifuges est primordial dans le domaine d'activité industrielle, elles accélèrent les cycles de production. Dans toutes les branches de l'industrie pétrolière, on utilise ces pompes grâce à la simplicité de leur construction et à la facilité de leur exploitation.

### **III.5.2 Définition des Pompes Centrifuges**

Les pompes centrifuges se sont des turbomachines multicellulaires qui transforment l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Elles constituée par :

- ❖ Une roue à aubes tournant autour de son axe
- ❖ Un distributeur dans l'axe de la roue
- ❖ Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Ce sont les pompes les plus utilisée dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût.

### **III.5.3 Fonctions des Pompes Centrifuges dans la Production**

Nous présentons un cas d'étude d'un système de production dans lequel les pompes d'aspirations d'eau pour sa transmission vers des ballons de vapeur pour ainsi alimenter les turbines à vapeur jouent un rôle prépondérant. Cette description est détaillée par rapport aux alarmes de surveillance du fonctionnement du système de production afin d'établir une base de données maintenance. Le cas d'étude concerne l'usine FERTIAL. [43]

### **III.5.4 Caractéristiques Générales des Pompes Centrifuges**

**Une pompe centrifuge est principalement représentée par trois caractéristiques :**

- ❖ Hauteur manométrique en fonction du débit :  $H(Q)$
- ❖ Le débit volumique [ $m^3/s$ ]
- ❖ Rendement en fonction du débit :  $\eta(Q)$

#### **A) Débit Q :**

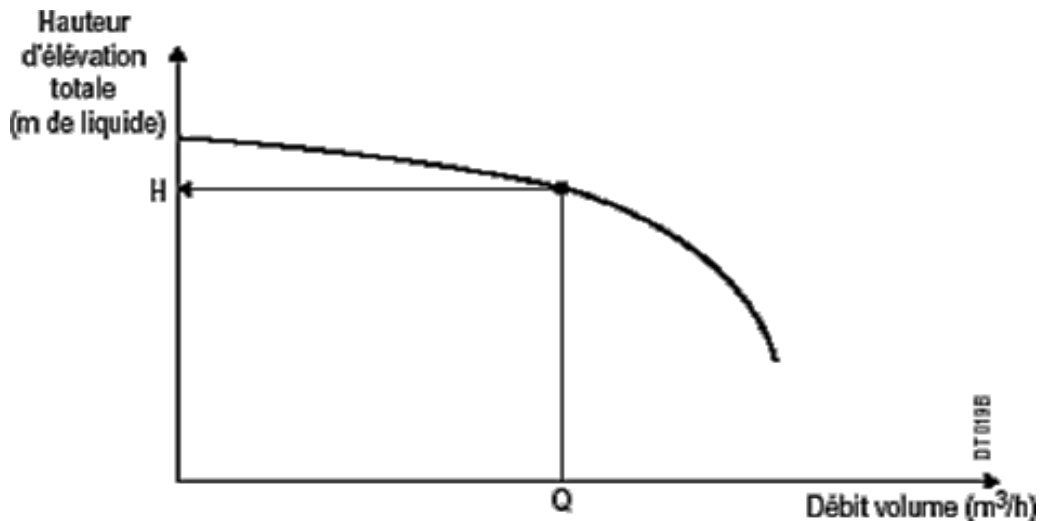
Le débit Q fourni par une pompe centrifuge et le volume refoulé pendant l'unité de temps. Il s'exprime en  $m^3/s$  ou plus pratiquement en  $m^3/h$ .

**B) Hauteur Manométrique Totale HMT :**

Pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, la pompe doit fournir une certaine pression appelée HMT, cela dépend des conditions d'aspiration et de refoulement.

**C) Rendement  $\eta$  :**

Le rendement  $\eta$  d'une pompe est le rapport de la puissance utile  $P_u$  (puissance hydraulique) communiquée au liquide pompé à la puissance absorbée  $P_a$  par la pompe ou par le groupe.



**Fig. III-5 :** Caractéristique "hauteur d'élévation"  $H(Q)$  de la pompe.

La courbe représentant la variation de hauteur en fonction du débit s'appelle la caractéristique "hauteur d'élévation"  $H(Q)$  de la pompe. Pour chaque pompe, une courbe est fournie par le constructeur. Elle a été établie par un essai de la pompe sur un banc.

La grandeur HMT représente la hauteur de liquide qui pourra être obtenue dans la tuyauterie de refoulement par rapport au niveau de liquide à l'aspiration.

$$HMT [m] = ( P_r - P_a ) / \rho * g$$

Avec :

- $P_a$**  : Pression d'aspiration
- $P_r$**  : Pression de refoulement

La puissance utile  $P_u$  et le rendement  $\eta$  sont donnés par :

$$P_u = Q * \rho * g$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Avec :

- **$H$**  : La hauteur manométrique de la pompe.
- **$Q$**  : Est le débit volume du fluide
- **$g$**  : L'accélération de pesanteur.
- **$\rho$**  : Sa masse volumique.



Le rendement de la pompe varie avec le débit et passe par un maximum pour le débit nominal autour duquel la pompe doit être utilisée.

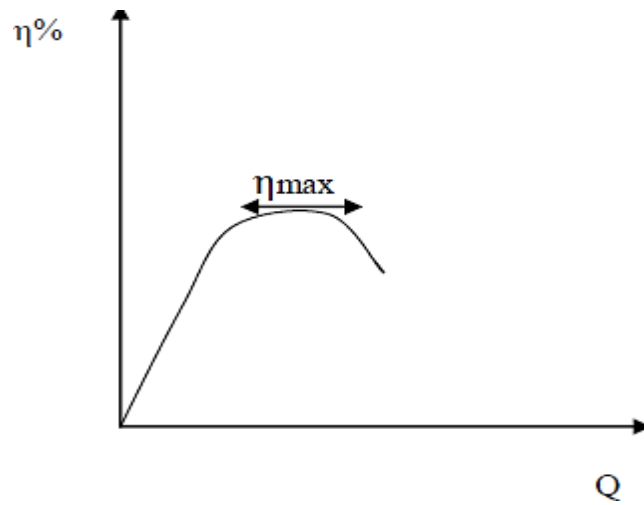


Fig. III-6 : La courbe  $\eta(Q)$  du rendement.

La courbe  $\eta(Q)$  du rendement est toujours montante depuis la valeur  $\eta = 0$ , puis descendante en passant par une valeur  $\eta_{max}$ . Ce quel que le type de pompe utilisé.

### III.6 Pompes Centrifuges '104J Type MF 410'

Les pompes 104J sont l'objet des pompes centrifuges **multicellulaires horizontales** entraînées par une turbine à vapeur (104JA, JB, JC) ou un moteur (104JS), elles sont largement utilisées pour la déminéralisation de l'eau qui servira dans la production de vapeur indispensable pour le fonctionnement de l'unité d'ammoniac. [43]



Fig. III-7 : Pompe Centrifuge 104J MF 410.



### **III.6.1 Description et Fonctionnement**

La pompe 104JA est une pompe centrifuge multicellulaires horizontales entrainées par une turbine à vapeur (104JA) ou un moteur (104JS), elle tourne à une vitesse de 2965 (tr/min), fournissant un débit 168 (m<sup>3</sup>/h), elle assure le transport de l'eau déminéralisée du ballon (101-U) vers le ballon de tête (101-F) avec une pression de 105 bars. L'eau déminéralisée servira dans la production de vapeur indispensable pour le fonctionnement de l'unité d'ammoniac.

Un arrêt des pompes alimentaires 104J (A, B, C, M) conduit à l'arrêt total de l'unité. Parmi les documents qu'on a récupéré de l'entreprise, les organes constituant notre équipement nous montrent la complexité des constituants de la pompe prouve qu'il faut d'une part maîtriser son fonctionnement, pour d'éventuels diagnostics et interventions du point de vue maintenance, et d'autre part porter des améliorations pour une bonne disponibilité [43].

### **III.6.2 Composition de l'Équipement**

Le schéma en dessous représente les organes principaux de la pompe, elle est composée d'éléments statiques et de éléments tournants :

#### **A- Les éléments statiques se compose de :**

- ❖ Le corps de pompe sur lequel se trouvent les tubulures et brides d'aspiration et de refoulement, la volute et les pieds (ou pattes) de fixation sur le châssis.
- ❖ Le corps de garniture (plateau de garnitures) fermant l'arrière du corps de pompe, est traversé par l'arbre et reçoit le système d'étanchéité (tresses ou garniture mécanique).
- ❖ Le corps de palier dans lequel sont montés des roulements et qui contient le système de lubrification. Le corps de palier possède souvent une béquille de supportage.

#### **B- Les éléments tournants se compose de :**

- ❖ Pièces : chemises d'arbre, déflecteur ou labyrinthe d'étanchéité, écrous de fixation, ...
- ❖ Un accouplement permettant la liaison avec la machine d'entraînement.
- ❖ Éléments liant le rotor et les pièces fixes et donc soumises à frottement.
- ❖ Un arbre sur lequel sont montés.
- ❖ Garniture d'étanchéité.
- ❖ Un impulseur (roue).
- ❖ Les roulements.

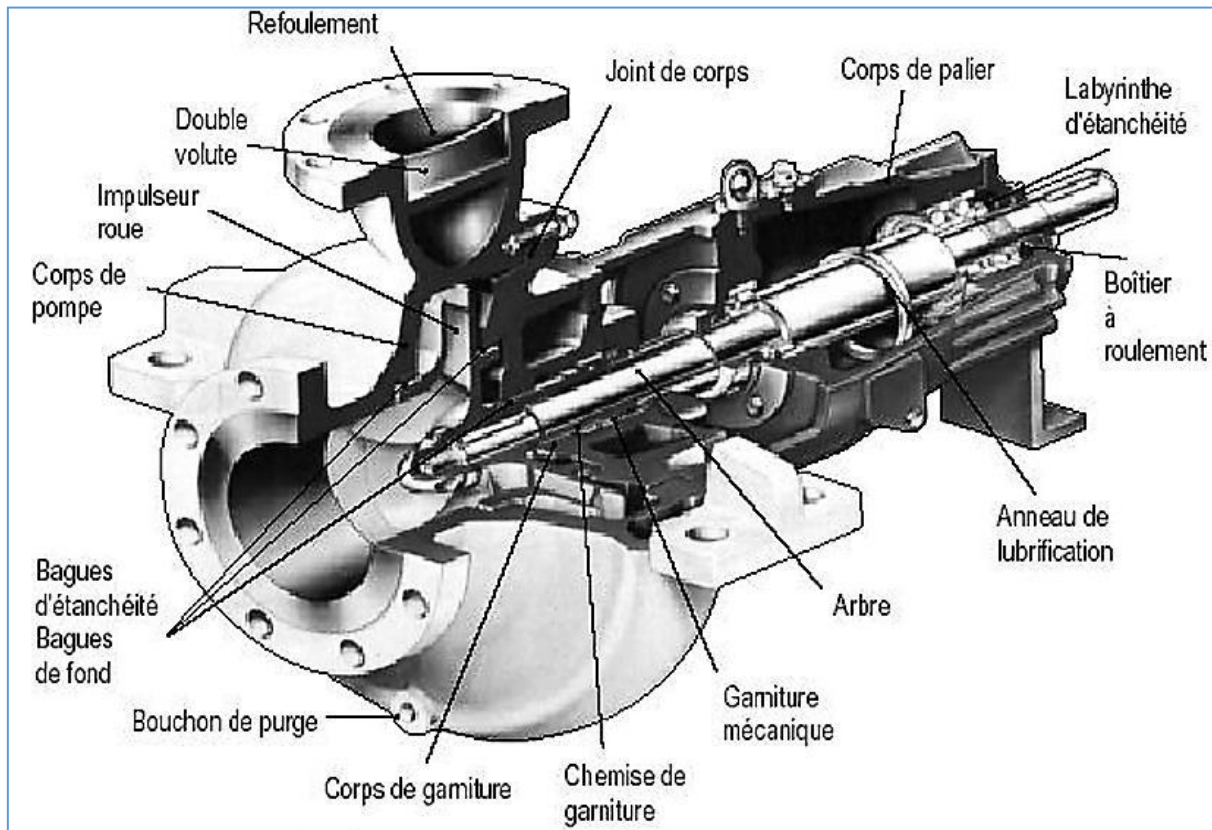


Fig. III-8 : Présentation des composants générale de pompe centrifuge.

Parmi ces différentes pièces, l'impulseur et la volute sont celles qui sont directement impliquées dans la fonction de pompage de la machine. Au travers elles, se produisent les variations de vitesse et de la pression du liquide.

### III.7 Démarrage de la Pompe Centrifuge

Le démarrage de pompes centrifuges, doit s'effectuer avec vanne d'aspiration grande ouverte, la tuyauterie d'aspiration devant, d'ailleurs rester absolument libre pendant la marche de la pompe. Lors du premier démarrage, il est prudent de fermer la vanne de refoulement et de la rouvrir progressivement afin d'éviter, d'une part la surcharge du moteur pendant le remplissage de la pompe est nulle, et d'autre part le remplissage trop rapide de l'installation.

Le réglage du débit de la pompe, soit en raison des nécessités du service, soit pour éviter la surcharge du moteur, doit toujours être effectuée sur la vanne de refoulement seule, la fermeture de la vanne d'aspiration provoquant l'ébullition du liquide à l'entrée de la pompe et l'usure rapide des aubages du rotor. Il est recommandé de ne pas faire tourner les pompes pendant une période prolongée avec la vanne de refoulement complètement fermée, afin d'éviter l'échauffement du liquide brassé dans la pompe. Dans le cas où, en opération normale, une vanne automatique peut réduire le débit de la pompe jusqu'au débit nul, il est bon de prévoir une conduite de by-pass pour assurer une circulation minimum au travers du corps de pompe.

Lorsque la pompe est mise en service, il faut surveiller la pompe et son moteur, et tout échauffement ou toute vibration anormale, vérifier l'alignement de groupe. Dans le cas d'échauffement excessif des bourrages, procéder à plusieurs démarrages et arrêts successifs jusqu'au moment où le liquide pompé traverse le bourrage en le lubrifiant et en le refroidissant. Si cette Manoeuvre ne donne pas de résultat, c'est que le bourrage a été serré trop fort et la meilleure solution consiste à recommencer le remplissage de la boîte à bourrage. Le fait de desserrer les écrous de presse-étoupe est, en général, insuffisant pour arrêter l'échauffement des bourrages ceux-ci se déplaçant d'une seule pièce dans la boîte, et l'ensemble restant toujours aussi compact. Tout échauffement du palier, vibration ou bruits anormaux, sont une cause d'alarme, le groupe devant être arrêté immédiatement et la cause de l'incident recherchée.

### III.7.1 Lubrification

- ❖ **À l'huile :** Pompes lubrifiées à l'huile, le choix du lubrifiant à utiliser dépend des conditions de travail auxquelles les paliers sont soumis. La préférence serait donnée aux huiles possédant des additifs antioxydants et anti-émulsines. Pour la lubrification d'une pompe équipée d'une butée Mitchell, s'en référer aux indications du plan coupe.
- ❖ **Très Important :** En observant la température du palier, l'utilisateur dispose d'un moyen pratique très simple de s'assurer si l'huile employée est bien adaptée aux conditions de marche, cette température ne peut jamais excéder de 40°C la température ambiante.

### III.7.2 Surveillance

Une pompe en service doit être surveillée périodiquement et la cause de tout changement dans son fonctionnement recherché. Les presses -étoupe des boîtes à bourrage seront ajustés régulièrement pour permettre une légère fuite du liquide pompé. Dans le cas d'une fuite excessive, il faut serrer le presse-étoupe parallèlement 1/6. De tour à la fois, en laissant tourner la pompe un temps suffisamment long pour que la pression supplémentaire se répartisse uniformément sur toute la longueur du bourrage.

**Remarque :** Lorsqu'il s'agit d'une pompe hélicoïde il y a lieu de démarrer celle-ci vanne de refoulement ouverte et ne pas faire fonctionner la pompe à des débits inférieurs aux limites indiquées aux courbes caractéristique.

### III.7.3 Maintenance

La fréquence et l'importance des entretiens seront déterminées en fonction du service demandé aux pompes. Elles ne pourront être déterminées qu'après une certaine période de service après laquelle il sera procédé. Nous déconseillons en générale un entretien préventif complet, sans que des signes de faiblesse ne soient constatés pas aux points suivants :

❖ **L'huile** : il faut la vidanger une fois par ans ou après 6000 heures. Toute fois ces délais devront être raccourcis selon le degré de pollution de l'huile.

❖ **Renouvellement des garnitures de bourrage** : Lorsque le presse-étoupe, après les réglages successifs, est arrivé à fond de course, on ajoute une corde supplémentaire dans la boîte.

Lorsque le presse-étoupe sera de nouveau en fin de course, au lieu de changer toute la garniture de la boîte en vérifiant l'état de la chemise d'arbre. Dans le cas d'une boîte à bourrage équipée d'une lanterne, n'a pas omettre de remplacer la ou les cordes placées derrière celle-ci.

### III.8 Étude de Fiabilité du Processus Maintenu

Cette étude de la fiabilité est très souvent utilisée par l'expert. Nous présentons, dans cette section, quelques distributions de vie qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse des données de vie et qui sont communes à plusieurs champs disciplinaires. Nous parlerons en particulier des lois continues. Ce travail consiste à l'étude des mesures préventives par l'analyse quantitative et qualitative des scénarios de défaillances. Un cas réel est étudié dans l'entreprise FERTIAL où nous avons pris la pompe à centrifuge 104j comme exemple.

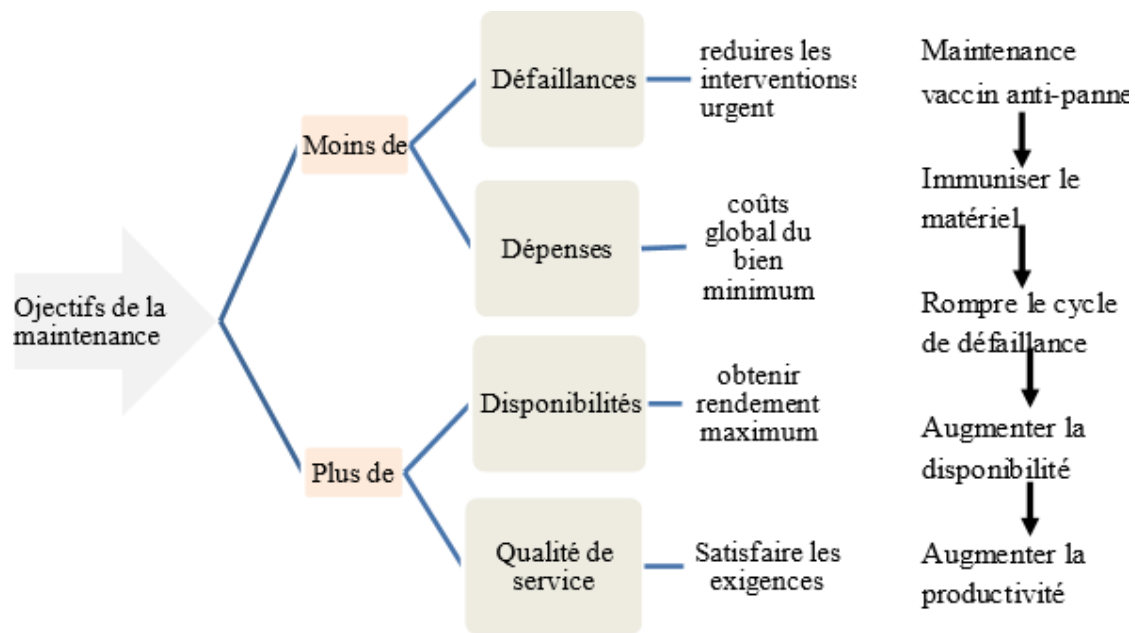


Fig. III-9 : Objectifs de la maintenance.

#### III.8.1 Lois Usuelles de Probabilité

La fiabilité est une grandeur quantitative qui nécessite la connaissance des distributions de durée de vie an de l'estimer. Dans le cadre d'un system complexe, ces distributions doivent absolument tenir compte de tous les mécanismes de défaillances associées aux différentes technologies. Nous présentons dans cette section les lois et les modèles de fiabilité susceptibles, selon l'expérience, de représenter des distributions de durée de vie des composants qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse de leur fiabiliste.

Nous rappelons les principales propriétés de ces lois, les fonctions de fiabilité associées, les densités de probabilité, les taux de défaillances ainsi que les durées de vie moyennes. Nous énoncerons les principales propriétés de ces lois (densité de probabilité, fonctions fiabilité et taux de défaillance [48] :

1. **La loi exponentielle**
2. **La loi normale (Laplace-Gauss)**
3. **La loi Log-normale (ou de Galton)**
4. **La loi de Weibull ... etc.**

La loi exponentielle est la **plus couramment utilisée en fiabilité** pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillances des équipements est considéré comme constant (aléatoire). Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances. Elle est définie par le taux de défaillances. Elle est caractérisée par :

- La densité de probabilité  $f(t)$
  - La fiabilité  $R(t)$
  - Le taux de défaillances  $\lambda(t)$
- La durée de vie moyenne ou MTTF =  $1/\lambda$

**Tableau III-1 : Grilles de cotation de la gravité [46]**

Niveau de Gravité	N°	Définitions
<b>Gravité Mineure</b>	<b>1</b>	<b>Défaillance mineure :</b> -Arrêt de production à 1h -Aucune dégradation notable du matériel
<b>Gravité Significative</b>	<b>2</b>	<b>Défaillance significative :</b> -Arrêt de production de 1h à 4h repose d'intervention. -Remise en état de courte ou petite sur place nécessaire -Déclassement du produit
<b>Gravité Moyenne</b>	<b>3</b>	<b>Défaillance moyenne :</b> -Arrêt de production de 4h à 8h -retouche du produit nécessaire ou rebat (non qualité détectée a la production).
<b>Gravité Majeure</b>	<b>4</b>	<b>Défaillance majeure :</b> -Arrêt de production de 1jour -intervention importante sur sou système -production de pièce non-conforme, non détectées.
<b>Gravité Catastrophique</b>	<b>5</b>	<b>Défaillance catastrophique :</b> -Arrêt de production plus 1 jour -intervention lourde nécessitant des moyens coûteux -problème de sécurité du personnel ou environnement

Tableau III-2 : Historique des pannes de la pompe centrifuge 104J.

N°	Date de Pannes	Début d'Arrêt	Fin d'Arrêt	Temps d'Arrêt	Intervention pour Éliminer les Pannes	TBF 'h'	TTR 'h'	Rendement de Fonctionnement 'jours'
1	17/05/2011	08 h 30	11 h 30	03 h 00	Changement de pompe	/	03	/
2	16/07/2011	10 h 00	13 h 30	03 h 30	Nettoyer la soupape de refoulement	1441,5	3,5	17,16
3	02/02/2012	09 h 00	12 h 00	03 h 00	Révision de la garniture mécanique	4823	03	66,99
4	10/04/2012	09 h 30	15 h 30	06 h 00	Réparation de palier	1632,5	06	11,34
5	20/08/2012	08 h 30	14 h 00	05 h 30	Révision de la garniture mécanique	3167	5,5	23,99
6	30/10/2012	10 h 30	12 h 00	01 h 30	Révision de la pompe	1706	1,5	47,39
7	11/11/2012	09 h 00	14 h 00	05 h 00	Révision de la pompe	286,5	05	02,39
8	19/11/2012	09 h 00	14 h 30	05 h 30	Révision de la pompe	192	5,5	01,45
9	08/12/2012	13 h 00	15 h 30	02 h 30	Révision palier coté refoulement	460	2,5	07,67
10	23/12/2012	10 h 00	12 h 00	02 h 00	Alignement par comparateur	357	02	07,44
11	11/02/2013	09 h 30	17 h 00	08 h 30	Réparation de la Garniture mécanique	1199,5	7,5	06,66
12	12/02/2013	09 h 00	14 h 30	05 h 30	Révision palier coté aspiration	23,5	5,5	00,18
13	23/05/2013	09 h 00	19 h 00	10 h 00	Réparation de la Garniture mécanique	2400	10	10,00
14	05/06/2013	09 h 00	18 h 00	09 h 00	Changement garniture mécanique	312	09	01,44
15	15/08/2013	09 h 00	11 h 00	02 h 00	Élimination de fuite	1704	02	35,50
16	01/09/2013	09 h 00	11 h 00	02 h 00	Révision de la pompe	408	02	08,50
17	08/10/2013	09 h 00	12 h 00	03 h 00	Élimination de fuite	888	03	12,33
18	11/12/2013	09 h 00	11 h 00	01 h 30	Élimination de fuite	1536	1,5	42,67
19	28/03/2014	10 h 00	13 h 00	03 h 00	Révision de la pompe	2569	03	35,68
20	28/05/2014	09 h 00	12 h 00	03 h 00	Alignement par laser	1463	03	20,32



v · m	Maintenance	[masquer]
<b>Typologie</b>	logicielle adaptative · Conditionnelle · Corrective · Curative · Différée · Opportuniste · Palliative · Proactive · Préventive · Prévisionnelle · Systématique · Évolutive	
<b>Domaines</b>	Dépannage hydraulique · <u>Maintenance des systèmes mécaniques automatisés</u> · Maintenance des équipements industriels · Maintenance de patrimoines immobiliers · Maintenance des moteurs à explosion · <u>Entretien de l'automobile</u> · Maintenance technique · Maintenance du logiciel · Robotisation de la maintenance aéronautique	
<b>Méthodes</b>	5S · Aide au dépannage · <u>Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité</u> · Échange standard · Pièce de rechange · Gestion de maintenance assistée par ordinateur · Maintenance productive totale · Méthode d'évaluation des risques industriels des dysfonctionnements des équipements · Méthode Maxer · Pronostic de défaillance · <u>Topomaintenance</u> · Tolérance aux pannes	
<b>Mesures</b>	Réparabilité · Disponibilité · Taux d'indisponibilité · Maintenabilité · <b>MTBF</b> · MTBM · MTBO · MTBR · MTTF · MTTFF · MTTR · Taux de défaillance	
<b>Prise en charge</b>	Automaintenance · Service de dépannage · Soutien logistique intégré · Télémaintenance · Tierce maintenance · Tierce maintenance applicative · Visites de maintenance des avions	
<b>Formation et métiers</b>	Brevet de technicien supérieur - Maintenance industrielle · Chef mécanicien · Maintenanicien · Mainteneur · Mécanicien automobile · Mécanicien d'aéronefs · Second mécanicien · Technicien de maintenance · Technicien supérieur de maintenance d'éoliennes	

Fig. III-10 : Domaines, Typologies et méthodes de la maintenance. [48]

Le tableau III-5 représente l'historique des pannes de la pompe centrifuge 104J et exprimer les calculs utiliser pour trouver le temps de bon fonctionnement et le temps techniques de réparation. Parmi les lois utilisées pour la mesure de la fiabilité on choisit la loi de l'exponentielle, c'est un modèle mathématique particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances, il couvre le cas où le taux de défaillance est variable. Les différentes formules utilisées pour la distribution d'exponentielle sont :

**a) La fonction de fiabilité :**

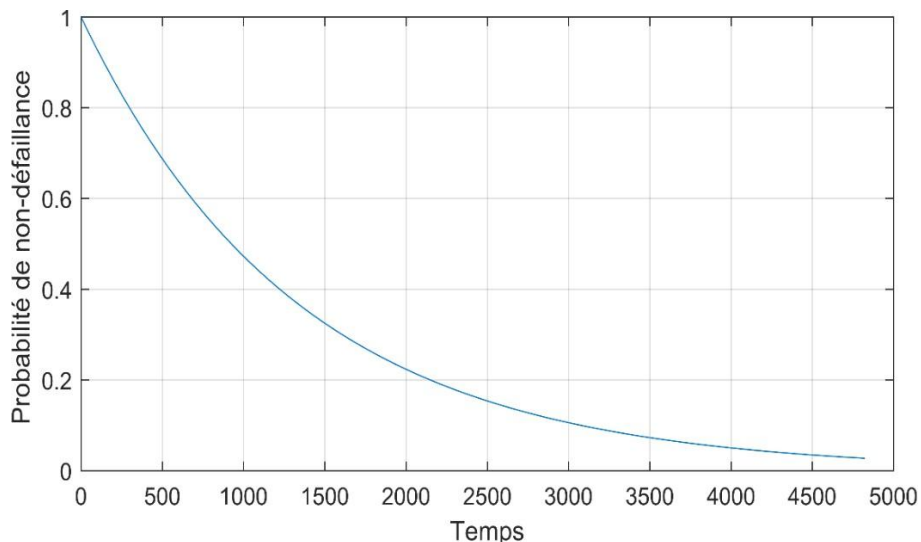


Fig. III-11 : Traçage de la fonction de probabilité de non défaillance.

**Commentaire :** Cette figure représente la fonction de la probabilité de non-défaillance dans l'intervalle de temps de 0 à 4823 heures c'est à dire la répartition des pannes au-delà du temps (t). Cette fonction s'écrit comme suit :  $R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$  ; on remarque qu'il y a une relation inverse entre la probabilité de défaillance et le temps ce que veut dire que, plus le temps est long, plus la probabilité de défaillance est grande.

b) Le taux de défiance :

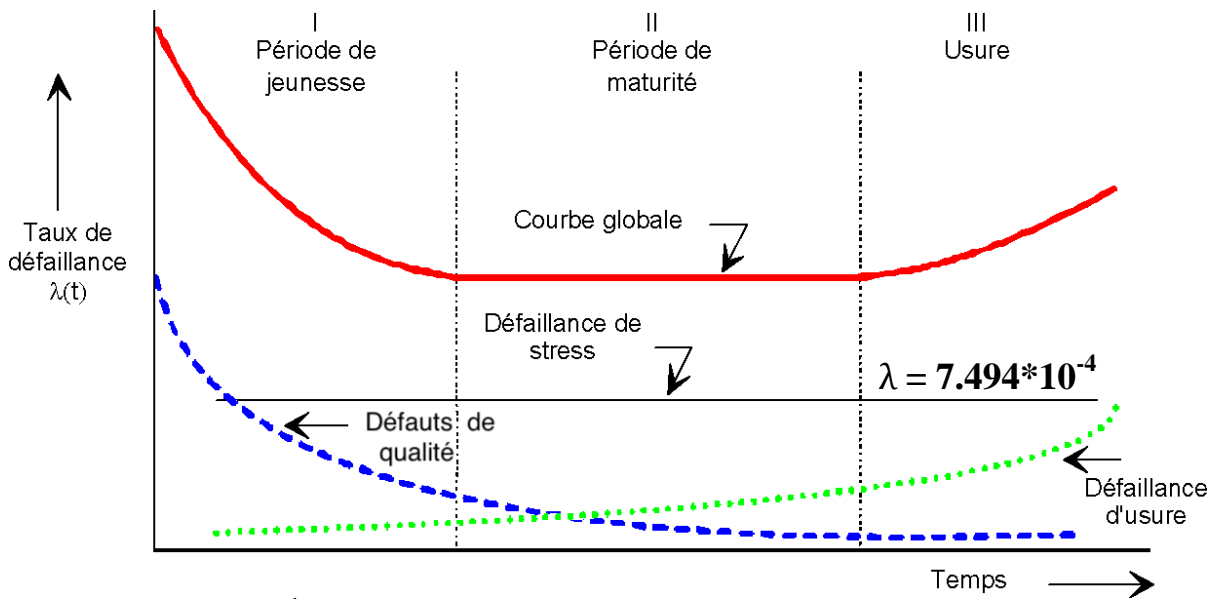


Fig. III-12 : Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire » [44].

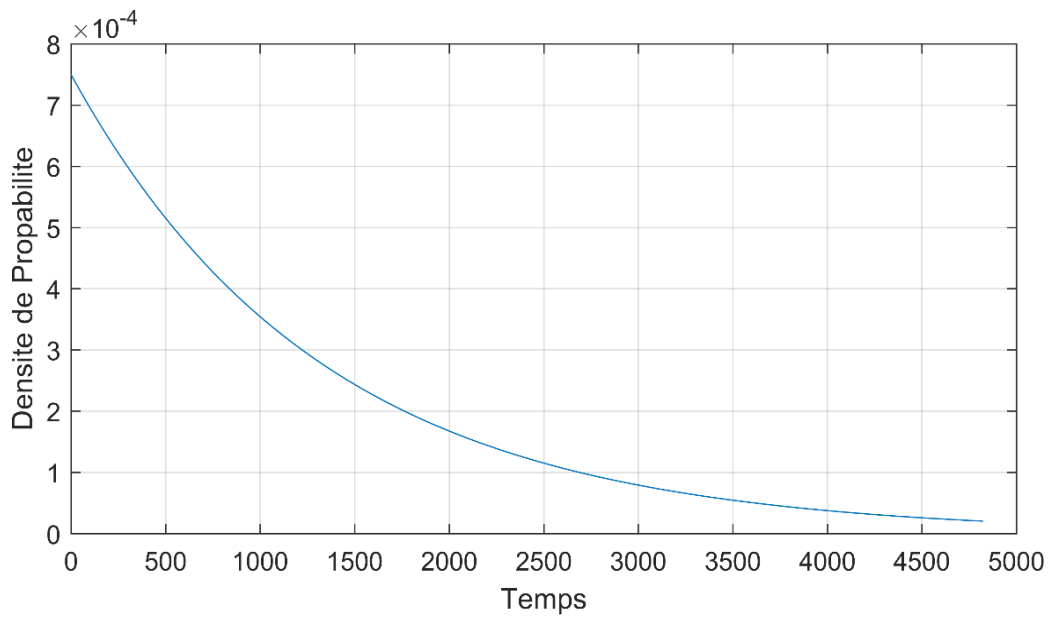
**N.B :**  $\lambda(t)$  probabilité d’avarie au temps  $(t + \Delta t)$  d’un dispositif qui était en bon fonctionnement au début de l’unité de temps  $(t)$  :  $\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} \Rightarrow \lambda$  est constant égale à  $7.5E-4$ .

	<p><b>Modèle A – Baignoire :</b> La mortalité infantile, puis un taux d’échec constant ou croissant, suivi d’une zone d’usure distincte. <b>Exemple :</b> moteur alternatif révisé.</p>
	<p><b>Modèle B – Usure traditionnelle :</b> Taux de défaillance constant ou en augmentation lente suivi d’une zone d’usure distincte. <b>Exemple :</b> moteur alternatif, roue de pompe.</p>
	<p><b>Modèle C – Montée progressive sans zone d’usure distincte:</b> Augmentation progressive du taux de défaillance, mais pas de zone d’usure distincte. <b>Exemple :</b> turbine à gaz.</p>
	<p><b>Modèle D - Augmentation initiale avec un nivellement :</b> Faible taux de défaillance au départ, puis augmentation rapide jusqu’à une probabilité de défaillance constante. <b>Exemple :</b> équipements complexes soumis à de fortes sollicitations avec des essais après fabrication ou restauration tels que les systèmes hydrauliques.</p>
	<p><b>Modèle E - Échec aléatoire :</b> Taux de défaillance constant dans toutes les périodes de fonctionnement. <b>Exemple :</b> roulements à rouleaux/à billes.</p>
	<p><b>Modèle F – Mortalité infantile :</b> Mortalité infantile élevée suivie d’un taux d’échec constant ou en augmentation lente. <b>Exemple :</b> composants électroniques.</p>

Tableau III-3 : Différentes Modèle de  $\lambda(t)$  avec interprétation.



**La densité de probabilité :**



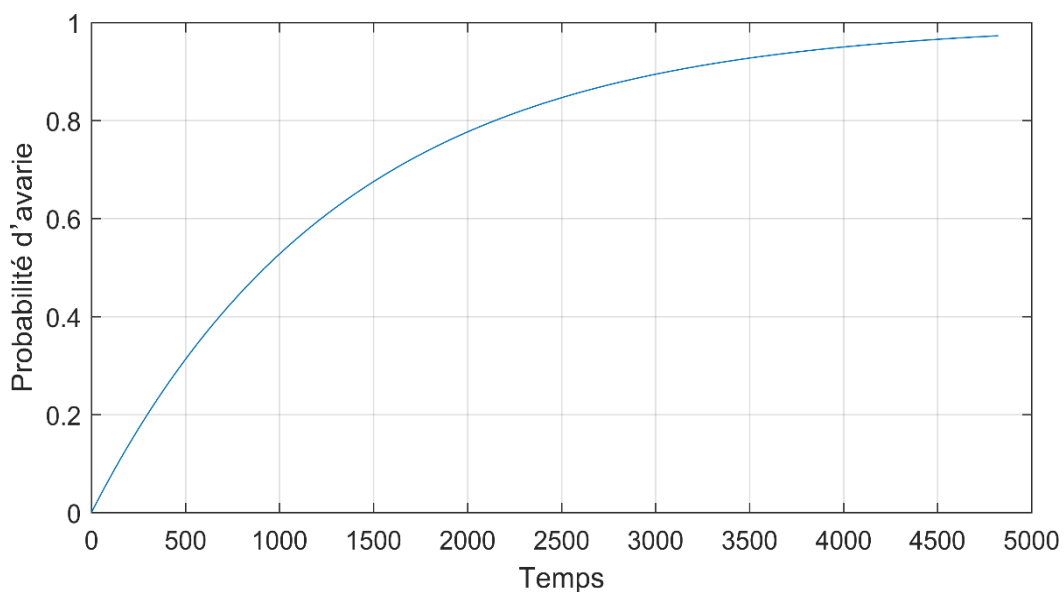
**Fig. III-13 :** Traçage de la fonction de densité de probabilité.

**Commentaire :** Cette figure représente la densité de probabilité dans l'intervalle de temps de 0 à 4823 heures, c'est à dire  $f(t)$  : probabilité d'avarie au temps (t), c'est la probabilité d'avoir une seule avarie au temps (t) et cette fonction s'écrit comme suit :  $f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$ ; on remarque qu'il y a une relation inverse entre la densité de probabilité et le temps, ce que veut dire que, plus le temps est long, plus la densité de probabilité est petite.

**c) La fonction de répartition :**

$F(t)$  : Probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} = \int_0^t \lambda e^{-\lambda \cdot t} dt$$



**Fig. III-14 :** Traçage de la fonction de probabilité de répartition.

**MUT** : Correspond à la durée moyenne de la défaillance de bon fonctionnement après réparation du système.

$$\text{MUT} = \text{MTBF} - \text{MDT}$$

**Commentaire** : Cette courbe représente la probabilité d'avarie en termes de temps, car nous constatons qu'il existe une relation proportionnelle, et plus la durée est longue, plus la probabilité d'avarie est grande.

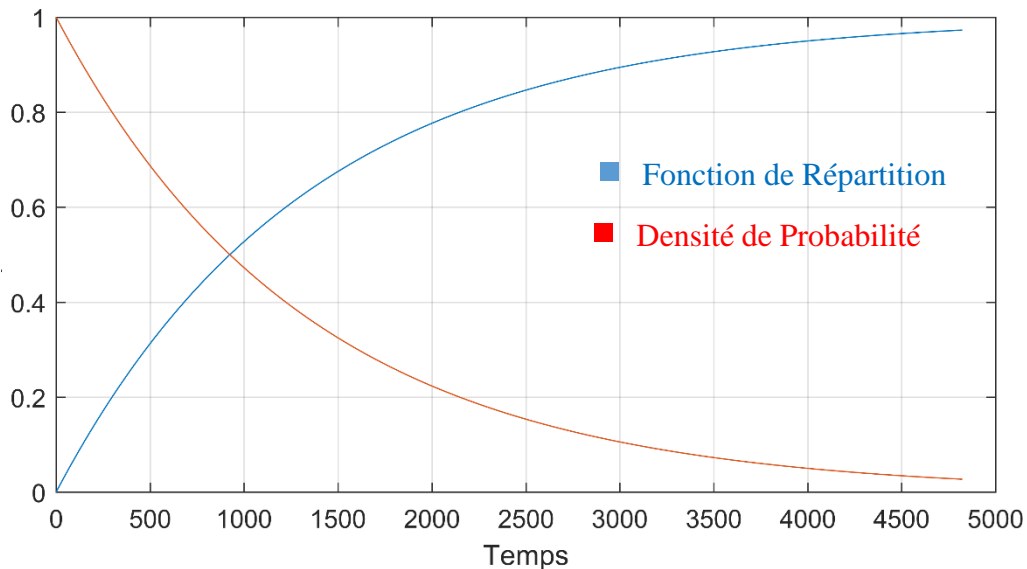


Fig. III-15 : Graphe combinant la densité de probabilité et la fonction de fiabilité.

### III.8.2 Métriques de la Sûreté de Fonctionnement

#### III.8.3 Analyse de la Criticité

L'analyse de la criticité permet de mettre en évidence la gravité qui s'évalue à partir des effets par une note estimée de 1 (mineur), à 4 (catastrophique). Suivant les systèmes, la gravité peut s'estimer sur plusieurs critères : sécurité des personnes, des biens, défauts de qualité, perte de disponibilité, pénalisation de la production, etc. La Probabilité d'occurrence des causes de défaillance, estimée par consensus des experts du groupe de travail s'évalue par une note estimée 1 (improbable) à 4 très fréquent. Voir le Tableau III-3.

Dans le cadre de notre modélisation, nous allons faire correspondre ces indices à des valeurs chiffrées en fonction du taux de défaillance  $\lambda$  exprimé en défaillance/heure suivant le tableau III-3.

$\lambda$ (déf/heure)	$\lambda < 10^{-7}$	$10^{-7} \leq \lambda \leq 10^{-6}$	$10^{-6} \leq \lambda \leq 10^{-3}$	$\lambda > 10^{-3}$
<b>Indice</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Appréciation</b>	Improbable	Rare	Fréquent	Très Fréquent

Tableau III-4 : Correspondance Indice d'occurrence et taux de défaillance TTR.

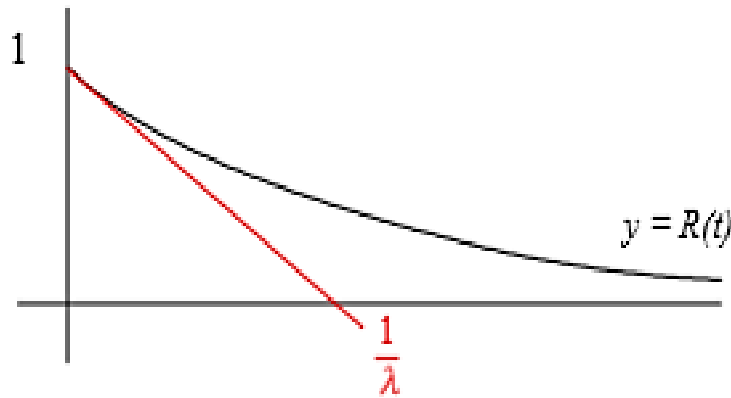


Fig. III-16 : Estimation graphique du taux de défaillance depuis la fonction de fiabilité.

La figure ci-dessous schématise les états successifs que peut prendre un système réparable :

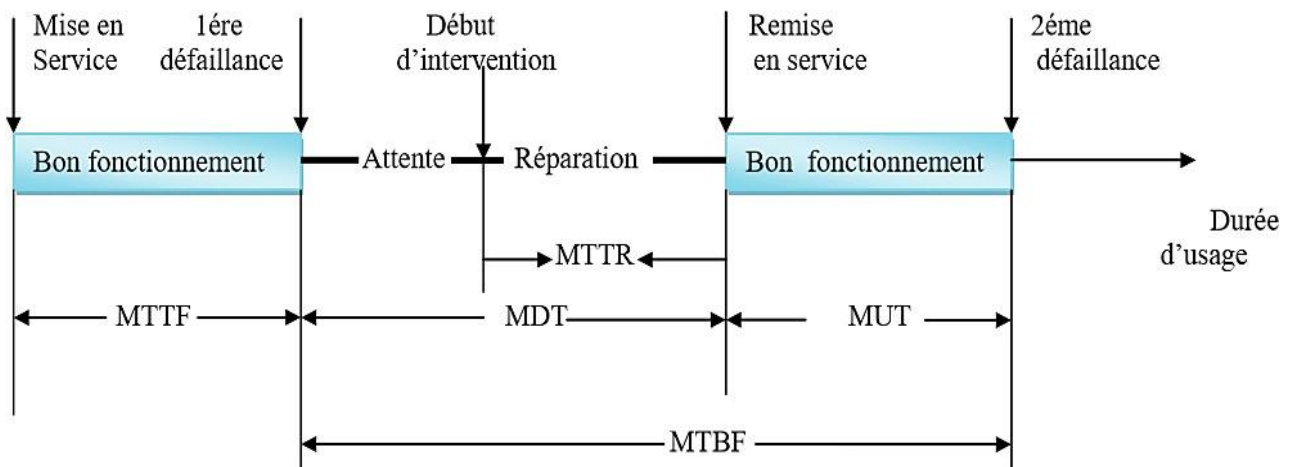


Fig. III-17 : Représentation de la disposition réparable.

Il existe aussi des grandeurs associées à la Sûreté de fonctionnement qui sont en fonction du temps, les grandeurs présentées ci-après caractérisent des durées moyenne [45] :

- **TBF** (Temps de Bon Fonctionnement).
- **TTR** (Time To Repair ou Temps Technique de Réparation).
- **MTTR** (Mean Time To Repair) la durée moyenne de réparation.
- **MTBF** (Mean Time Between Failure) la durée moyenne entre deux défaillances.
- **MUT** (Mean Up Time) la durée moyenne de fonctionnement après réparation.
- **MDT** (Mean Down Time) la durée moyenne d'indisponibilité après défaillance.
- **MTTF** (Mean Time To Failure) la durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance.

$$\mathbf{TBF} = [\text{Date de début de l'arrêt (N°02)} - \text{Date de début de l'arrêt (N°01)}] * 24$$

$$\mathbf{TTR} = [\text{Date de fin de l'arrêt} - \text{Date de début de l'arrêt}] * 24$$

$$\mathbf{MTBF} = \mathbf{MDT} + \mathbf{MUT}$$

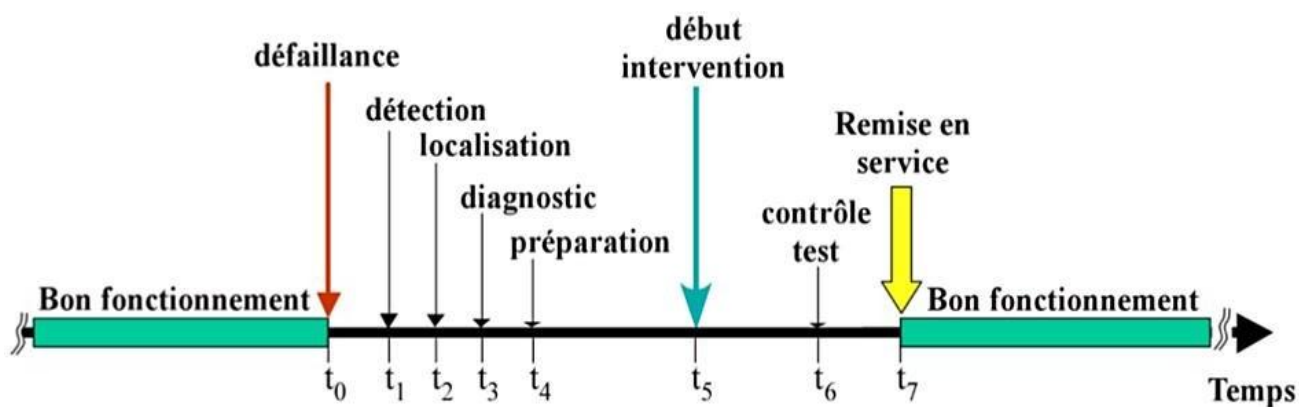


Fig. III-18 : Processus de déroulement d'une maintenance d'une pompe.

Tableau III-5 : Les pannes qui peuvent s'exercer dans la pompe et leurs causes.

N°	Panne	Cause
1	Le moteur ne tourne pas l'or qu'il est démarré	a) Pas d'électricité. b) Les fusibles ont sauté. c) La protection moteur est déclenchée. d) Le circuit de commande est coupé, défectueux. e) Les contacts du moteur ou la bobine sont défectueux
2	Le disjoncteur est déclenché (déclenche aussitôt après le ré enclenchement)	a) Un fusible sauté. b) Les contacts du disjoncteur sont défectueux. c) Connections de câbles non serrée ou défectueuse. d) L'enroulement du moteur est défectueux. e) La pompe est bloquée mécaniquement.
3	Le disjoncteur déclenche occasionnellement	a) Le réglage du déclencheur est trop faible. b) L'alimentation électrique est coupée périodiquement. c) La tension de réseau est trop faible en périodes de pointe.
4	Disjoncteur n'a pas déclenché, la pompe ne marche pas	a) Le circuit de commande est coupé, défectueux. b) Les contacts du moteur ou la bobine sont défectueux.
5	Le débit de la pompe n'est pas régulier	a) Le diamètre du tuyau d'aspiration est trop petit pour le débit. b) Le tuyau est partiellement bouché par des impuretés. c) Il n'y a pas assez d'eau disponible à l'aspiration de la pompe. d) Le niveau d'eau est trop bas. e) Le niveau d'eau audessus de la pompe, est bas par rapport à la température et la quantité d'eau et à la perte de charge.

<b>6</b>	La pompe marche et ne débite pas d'eau	<p>a) Le tuyau d'aspiration est bouché par des impuretés.</p> <p>b) Le clapet de pied/retenu est bloqué dans sa position fermée.</p> <p>c) Le tuyau d'aspiration fuit.</p> <p>d) Présence de poches d'air dans le tuyau ou dans la pompe.</p>
<b>7</b>	La pompe marche à l'envers lorsqu'on l'arrête	<p>a) Fuite dans le tuyau d'aspiration.</p> <p>b) Présence de poches d'air dans le tuyau d'aspiration.</p> <p>c) Le clapet de pied /le clapet retenue est défectueux.</p> <p>d) Le clapet de pied est bloqué dans sa position ouverte ou partiellement ouverte.</p>

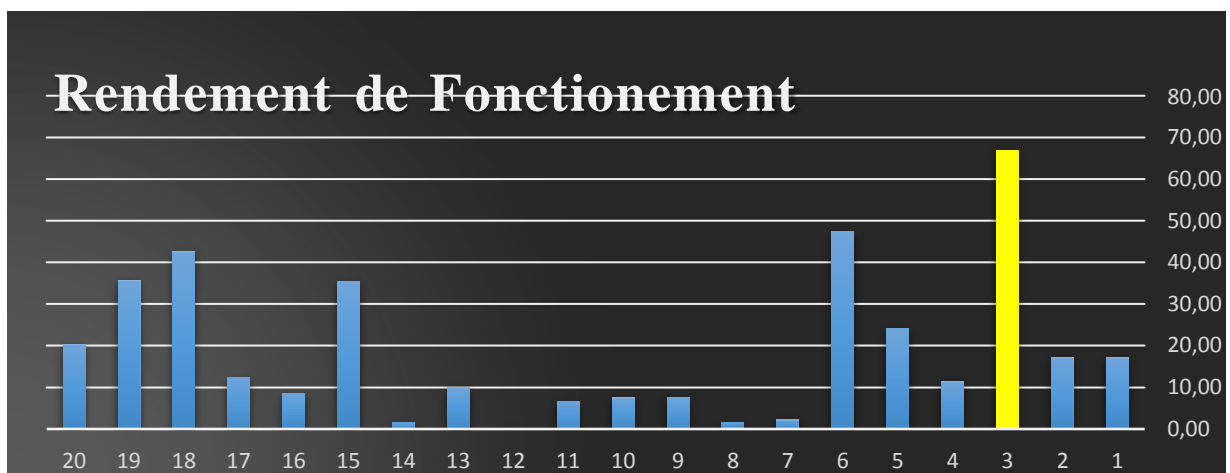


Fig. III-19 : Rendement de Fonctionnement basé sur le TBF et le TTR.

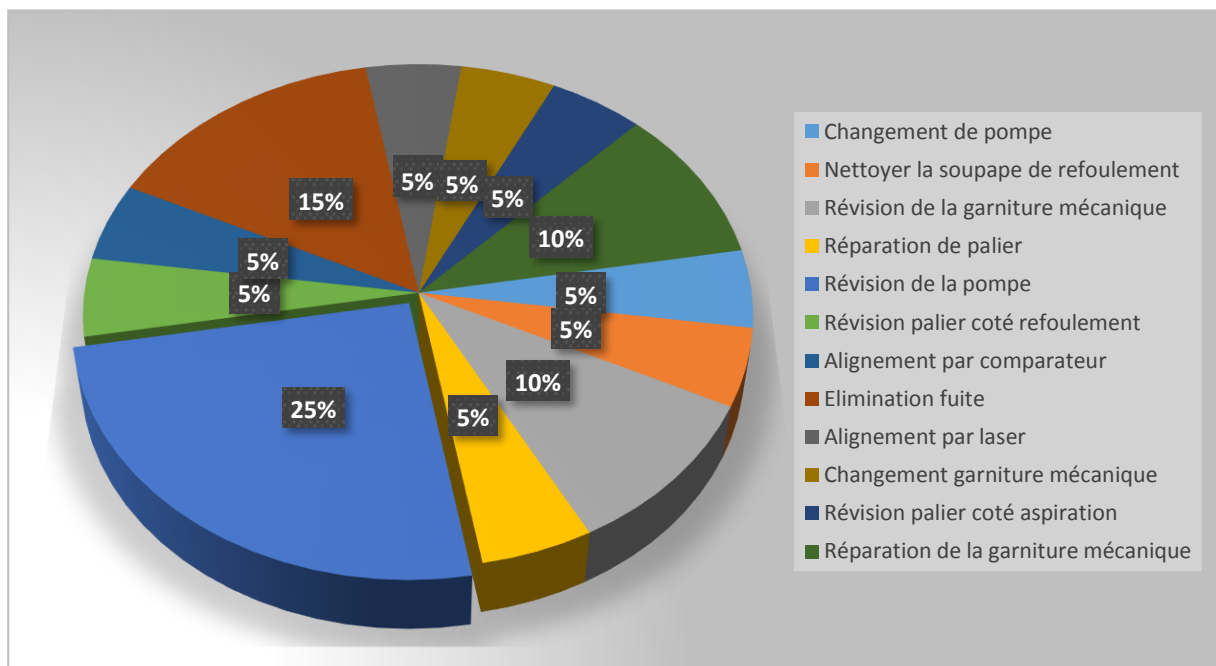


Fig. III-20 : Représentation graphique des pannes selon leur nombre et intervention.

Nous avons utilisé l'environnement MATLAB® pour tracer les courbes et voici le script qui nous avons utilisé :

```

%% Preparation de l'espace de travail %%
clc
clear
close all
%% Metriques de la Sûreté De Fonctionnement %%
STBF = 2.6676e+04 ; % la somme de temps de bon fonctionnement
MTBF = STBF/20 ;
lamb = 1/MTBF ;
t = (0:4823);
f = lamb*exp(-lamb*t);
r = f/lamb;
F = 1-r;
%% Affichage des Resultats %%
figure1 = figure('PaperUnits','centimeters','PaperSize',[8
5],'PaperPositionMode','auto','Position',[0.100 0.100 8 5]);
plot(t,f)
grid on
xlabel('Temps')
ylabel('Densite de Propabilite')
set(1,'PaperPosition',[-4.3741 -1.6407 16.7481 8.2815])
print(figure1,'-dtiff','-r600','f')

figure2 = figure('PaperUnits','centimeters','PaperSize',[8
5],'PaperPositionMode','auto','Position',[0.100 0.100 8 5]);
plot(t,r)
grid on
xlabel('Temps')
ylabel('Probabilité de non-défaillance ')
set(2,'PaperPosition',[-4.3741 -1.6407 16.7481 8.2815])
print(figure2,'-dtiff','-r600','r')

figure3 = figure('PaperUnits','centimeters','PaperSize',[8
5],'PaperPositionMode','auto','Position',[0.100 0.100 8 5]);
plot(t,F)
grid on
xlabel('Temps')
ylabel('Probabilité d'avarie')
set(3,'PaperPosition',[-4.3741 -1.6407 16.7481 8.2815])
print(figure3,'-dtiff','-r600','FF')

figure4 = figure('PaperUnits','centimeters','PaperSize',[8
5],'PaperPositionMode','auto','Position',[0.100 0.100 8 5]);
plot(t,F,t,r)
grid on
xlabel('Temps')
ylabel('Densite de Propabilite et Fiabilite')
set(4,'PaperPosition',[-4.3741 -1.6407 16.7481 8.2815])
print(figure4,'-dtiff','-r600','rf')

```

**Tableau III-6 : Estimation des paramètres de la loi d'exponentiel.**

Interventions	Temps d'Arrêt	Nombre des Pannes	Pourcentage des Pannes	MTBF (h)	MTTR (h)	MTTF (h)	$\Lambda$
Changement de pompe	03 h 00	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Nettoyer la soupape de refoulement	03 h 30	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Révision de la garniture mécanique	08 h 30	02	10,00 %	127,0294	0,42	63,3047	7,50E-04
Réparation de palier	06 h 00	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Révision de la pompe	17 h 00	05	25,00 %	317,5735	1,05	63,3047	7,50E-04
Révision palier coté refoulement	02 h 30	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Alignement par comparateur	02 h 00	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Élimination fuite	06 h 30	03	15,00 %	190,5441	0,63	63,3047	7,50E-04
Alignement par laser	03 h 00	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Changement garniture mécanique	09 h 00	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Révision palier coté aspiration	05 h 30	01	05,00 %	63,5147	0,21	63,3047	7,50E-04
Réparation de la garniture mécanique	18 h 30	02	10,00 %	127,0294	0,42	63,3047	7,50E-04
<b>Total</b>	<b>85 h</b>	<b>20</b>	<b>100 %</b>	<b>1333,809</b>	<b>4.2</b>	<b>63,3047</b>	<b>1,58E-02</b>

### III.9 Conclusion

L'analyse de production et la démarche de la maintenance basée sur la fiabilité se complètent pour permettre de cibler efficacement les actions de maintenance à mettre en place. La démarche conduit à évaluer les zones et plans d'actions correspondant au plus grand gisement économique potentiel et à affiner cette évaluation. Nous pouvons citer deux classes de difficultés : le groupe pilotant la méthode et la liaison entre la théorie et la pratique.

**Malgré ces difficultés, nous pouvons citer quelques supports de satisfaction :**

- Une bonne structure de la collecte des données (travail en groupe).
- Une bonne politique de maintenance devrait éviter la cessation usinage des pièces.
- L'obtention d'une meilleure méthode d'établissement d'un planning adapté aux exigences de l'entreprise, nous avons élaboré une MBF respectant les références.

« ----- »



## Conclusion Générale

Au terme de cette étude, nous avons pu découvrir le concept de maintenance fiable ainsi que son application et sa méthodologie de calcul de fiabilité et de disponibilité. Pour augmenter la rentabilité, la fiabilité, la disponibilité des machines (pompe centrifuge) et mieux comprendre le niveau de risque géré par le système.

Aussi, à travers nos recherches, et selon le titre de notre mémoire, Contribuer à la Maintenance Basée sur la Fiabilité et la Maintenance Intelligente, la Maintenance Intelligente était inspirante car il s'agit d'une maintenance prédictive basée sur des méthodes plus intelligentes et plus professionnelles, et cet objectif est d'augmenter la productivité de la maintenance basée sur la correction post-échec, avec la contribution de l'intervention humaine, il cherche plutôt à s'appuyer sur l'automatisation, la programmation numérique, la robotique, la détection, l'Internet des objets et la télécommande pour améliorer les prédictions et y remédier à l'aide de technologies.

Pour étudier et mesurer la fiabilité, nous avons utilisé les données et les informations d'une pompe centrifuge 104J MF 410 largement utilisée. Pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement de l'unité d'ammoniac, nous avons mené une étude de fiabilité basée principalement sur l'historique des pannes de pompe fourni par le service de maintenance des collecteurs, et nous avons également estimé les paramètres en créant des tableaux et des graphiques en utilisant une approche exponentielle pour étudier la fiabilité.

On peut suggère plus tard, comme perspective de travail, l'application de la maintenance intelligente pour l'analyse des différentes pannes qui peut s'exercer dans la pompe centrifuge 104j MF 410.



## Références

- [1] B. Herrou et M. Elghorba, « L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un motocompresseur d'une PME marocaine », p. 12.
- [2] D. Sherwin, « A review of overall models for maintenance management. J of Qual in Maint Eng 6(3): 138-164 », *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 6, p. 138-164, sept. 2000, doi: 10.1108/13552510010341171.
- [3] D. N. P. Murthy, A. Atrens, et J. A. Eccleston, « Strategic maintenance management », *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 8, n° 4, p. 287-305, déc. 2002, doi: 10.1108/13552510210448504.
- [4] « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels - Villemeur A. - Librairie Eyrolles ». <https://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/surete-de-fonctionnement-des-systemes-industriels-9782212016154/> (consulté le mai 09, 2021).
- [5] « B. Herrou, B. ELKIHHEL et M. Elghorba, Optimisation de plan d'action maintenance par la maintenance basée sur la fiabilité, étude de cas d'une PME marocaine, CPI'2007, Rabat, Maroc, 2007. » <https://pdfcoffee.com/mbf-etude-de-cas-pdf-free.html> (consulté le mai 09, 2021).
- [6] *Dana Netherton, Criterion for Defining RCM (Part One), Maintenance Technology, 1998.* .
- [7] P. Vriagnat, « Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne », p. 163.
- [8] A. Nour, « Application de la méthode MBF pour l'amélioration de la disponibilité d'un système électromécanique », Thesis, Université Mohamed Boudiaf - M'Sila, 2012.
- [9] *D.Richet, M.Gabriel, La Maintenance Basée sur la Fiabilité, Edition Masson 1996.* .
- [10] D. Messaoudi, « Élaboration d'un processus de fiabilité des équipements : application à l'espacement des arrêts planifiés », masters, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, 2005.
- [11] « MIL-STD 2173 (AS), Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment, U.S. Naval Air Systems Command, 1986, p.265. » .
- [12] *RCM Implementation Team, Royal Navy, NES 45 Naval Engineering Standard 45, Requirements for the Application of Reliability-Centered Maintenance Techniques to HM Ships, Royal Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels, United Kingdom, UK Ministry of Defence Publications, 1999.* .

- [13] Zhonghua Chenga,b, Xisheng Jiab, Ping Gaoa, Su Wua, Jianzhao Wang, *A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis Reliability Engineering and System Safety*, mars 2007.
- [14] « La norme NF EN 60300-3-11 - Avril 2010 ». <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-60300-3-11/gestion-de-la-surete-de-fonctionnement-partie-3-11-guide-d-application-maintenance-basee-sur-la-fiabilite/article/690367/fa158049> (consulté le mai 09, 2021).
- [15] H. D. Goel, J. Grievink, et M. P. C. Weijnen, « Integrated optimal reliable design, production, and maintenance planning for multipurpose process plants », *Comput. Chem. Eng.*, vol. 27, n° 11, p. 1543-1555, nov. 2003, doi: 10.1016/S0098-1354(03)00090-5.
- [16] M. Lyons, S. Adams, M. Woloshynowych, et C. Vincent, « Human reliability analysis in healthcare: A review of techniques », *undefined*, 2004, Consulté le: mai 09, 2021. [En ligne]. Disponible sur: /paper/Human-reliability-analysis-in-healthcare%3A-A-review-Lyons-Adams/edfd9894a419f9abdf81ee09d254a4156969570f.
- [17] Despujols, Antoine, « Approche fonctionnelle de la maintenance », *Tech. Ing. MT*, vol. Vol. MT1, p. 14 p., (Trimestriel).
- [18] Djamel HALIMI, « Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures, Thèse de Doctorat, 2014 ». <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1w-Xre8ZEqMJ:dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/bitstream/123456789/1831/1/HALIMI%2520Djamel.pdf+&cd=1&hl=ar&ct=clnk&gl=dz> (consulté le mai 09, 2021).
- [19] P. Goguelin et Q. sais-je ?, *La prévention des risques professionnels*. Paris: Presses Universitaires de France - PUF, 1996.

- [20] Conference Paper in IFAC Proceedings Volumes. May 2013.
- [21] IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, Volume 15, Issue 1 Ver. III (Jan. - Feb. 2018).
- [22] <https://www.technocampus.be/formations/maintenance-intelligente>.
- [23] P. Vignat, M. Avila, F. Duculty, S. Aupetit, M. Slimane, F. Kratz ‘Génération d’indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne ‘ HAL Id: hal-00684468/Submitted on 2 Apr 2012.
- [24] [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/1-4020-0612-8\\_535](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/1-4020-0612-8_535).
- [25] R. Keith Mobley « La maintenance prédictive », Masson, Paris, 1992.
- [26] C. SASSI « intégration des politiques de maintenance dans les systèmes de production manufacturiers » These de doctorat de l’INP, 1998.
- [27] Basile, O., Dehombreux, P., Riane, F. Evaluation of the uncertainty affecting reliability models. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 13(2):137-151, 2007.
- [28] Selon Gard et Deshmukh Gard, A. and Deshmukh, S.G. (2006), “Maintenance management: literature review and directions”, journal of quality in maintenance engineering, Vol. 12, N°03, pp. 205-238.
- [29] A. Despujols, Methodes d’optimisation des strategies de maintenance. Techniques de l’ingénieur, dossier MT9050, 2005.
- [30] MSG-3. Maintenance Program Development Document. Air Transport Association, Washington, D.C. Revision 2, 1993.
- [31] EPRI. RCM technical handbook, 1982.
- [32] Darwish Kodmani Bassma , Dubarry Chartouni May , “ Maghreb: les années de transition”, Masson , Paris , Milan , Barcelone , Mexico , 1990 .
- [33] jean héng pratique de la maintenance preventive / Dunod paris 2002.
- [34] Guillaume Laloux Société Ingexpert consultants experts maintenance 17F Bd Jean Duplessis 13014 MARSEILLE <http://www.ingexpert.com>.
- [35] GOUNDIAM Madi Yassa Enseignant chercheur 2iEGénie Energétique et Energies Renouvelables (M2 GEER) Cours MAINTENANCES des EQUIPEMENTS
- [36] <https://www.usinenouvelle.com/article/pmi-comment-optimiser-sa-maintenance.N80578>
- [37] Guide pratique de la TPM par Japan Institute of Plant Maintenance Editions IQM (Institut Qualité et Management).
- [38] <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17477778.2018.1467849>.

- [39] Benharrat. M, F. Khalef « pompe centrifuge », université Abdelhamid ibn badis de Mostaganem, faculté de science et de la technologie 2016 / 2017.
- [40] Joel. M. Zinsalo, note de cours « pompes et stations de pompage » université d'abomeycalavi.
- [41] Hamammed Mohammed, Yahia, Madonichoukri « Étude de système de refoulement Tfna\_Dzioua », université Aboubakr Belkayid, Tlemcen.
- [42] Dinbuta Nseka Merveille, Kaela Tshilombo Rojer, Mwape.Tondo Adrien, Ngeleka.Tshibangu. Moxime ; Wandanda Baudouin JOE « Eude comparative d'un montage série et d'un montage en parallèle de deux pompes hydraulique » Université de Lubumbashi, Faculté polytechnique.
- [43] Fardjallah Meriem « La maintenance basée sur la fiabilité d'une pompe centrifuge 104J type MF410 », Université Badji Mokhtar, Annaba, 2016.
- [44] Jean Heng, « Pratique de la Maintenance préventive », édition " Dunod", Paris, 2002.
- [45] Thèse : Fiabilité et Durabilité D'un Système Complexe Dédie Aux Énergies Renouvelables Application a un Système Photovoltaïque, Le 30 Septembre 2011.
- [46] Pascal Vrignat, Manuel Avila, Florent Duculty, Sebastien Aupetit, Mohamed Slimane, et al.. Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne, Revue Sciences et Maintenance, Association française des ingénieurs et responsables de maintenance (AFIM), 2012, pp.1-28.
- [47] Reliability Centered Maintenance, F. Stanley Nowlan and Howard F. Heap, December 29, 1978, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service.
- [48] Temps moyen entre pannes/Wikipédia.html.

« ----- »

## خالصة :

نهدف في أطروحتنا لدراسة المساهمة في تحسين الصيانة المراكزية على الموثوقية وارتباطها بالذكاء الصناعي ، وكيف ساهم هذا الأخير في تطوير نهجها وتزويدها ، حيث نعتمد الشركات المصنعة على أحد جوانب الأنشطة الفنية للصيانة الصناعية ، وهي الموثوقية ، وذلك لتحصيل التوافر والنتيجة وباختيار أسلوب التحليل المعتمد على منهج القانون السري للتحليل والدراسة ، والذي نمنه بتطبيقه على نوع من المضخات الطرد المركزي ، والذي اخذناه كعينة دراسة مستغلين في ذلك البيانات المتعلقة بالمواعيد الزمنية للتدخلات التصحيحية والوقائية ، باستخراج مؤشرات الموثوقية ، وحساب الأوقات المثلى للصيانة الوقائية.

**الكلمات المفتاحية :** مضخة الطرد المركزي ، الموثوقية ، التوافر ، الصيانة ، القانون السري

## Résumé :

Nous visons dans notre mémoire à étudier la contribution à l'optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité et son lien avec l'intelligence artificielle, et comment cette dernière a contribué au développement et à la mise en œuvre de son approche, car les industriels s'appuient sur l'un des aspects des activités techniques pour la maintenance industrielle. , qui est la fiabilité, afin d'obtenir disponibilité et productivité et en choisissant la méthode d'analyse basée sur l'approche de la loi l'analyse et l'étude exponentielle, que nous avons appliquée à un type de pompe centrifuge, que nous avons pris comme échantillon d'étude, a tiré parti des données relatives aux délais d'interventions correctives et préventives, en extrayant des indicateurs de fiabilité, et en calculant les délais optimaux pour la maintenance préventive.

**Mots clés :** Pompe Centrifuge, Fiabilité, Disponibilité, Maintenance, Intelligence Artificielle.

## Abstract :

In our study, we aim to study the contribution to the optimization of reliability-based maintenance and its link with artificial intelligence, and how the latter has contributed to the development and implementation of its approach, because manufacturers are based on one of the aspects of technical activities for industrial maintenance. , which is reliability, in order to obtain availability and productivity and choosing the method of analysis based on the approach of the law Analysis and exponential study, which we applied to a type of centrifugal pump, that We took as a study sample, took advantage of the data relating to the times of corrective and preventive interventions, by extracting reliability indicators, and by calculating the optimal times for preventive maintenance.

**Keywords:** centrifugal pump, reliability, availability, maintenance, Exponential law.