

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**  
**N° : MI 1**



**DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE**  
**FILIERE : ELECTROMECHANIQUE**  
**OPTION:MAINTENANCE INDUSTRIELLE**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par: DIF ZAKARYA**  
**ADJISSI MEHDI**

**Intitulé**

**Amélioration de la production d'un système par**  
**l'application de la maintenance préventive**

**Soutenu devant le jury composé de:**

**DEFDAF Mabrouk**

**MCB à M'SILA**

**Président**

**GHEMARI Zine**

**MCA à M'SILA**

**Rapporteur**

**BELHETICHE El'hadi**

**MAA à M'SILA**

**Examineur**

**Année universitaire : 2017 / 2018**

# Remerciements

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciements notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leurs conseils, nous avons eu courage d'accomplir ce projet.

Nous commençons par remercier Monsieur GHEMARI zine qui nous a fait l'honneur d'être notre encadreur.

Nous le remercions profondément pour son encouragement continue et aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver

Le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils,

Ainsi que son soutien moral et sa preuve de compréhension, ce qui nous a donné la force et le courage d'accomplir ce projet.

Nous tenons à remercier également toute l'équipe de la faculté de la technologie, et plus particulièrement, le département d'électrique.

Nous tenons d'autre part à remercier les respectables membres du jury pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux pour commenter, discuter et juger notre travail.

En fin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les professeurs de département d'électrique, pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires.

## DEDICACES : A .MEHDI

*Je dédie ce travail :*

- *A la mémoire de mes parents*
- *A toute ma famille,*
- *A tous mes amis,*
- *A tous mes collègues de la promotion 2018.*

## DEDICACES : D. ZAKARYA

*Je dédie ce travail :*

- *A la mémoire de mes parents*
- *A toute ma famille,*
- *A tous mes amis,*
- *A tous mes collègues de la promotion 2018.*

# Sommaire

<b>Introduction :</b> .....	<b>10</b>
<b>I. Maintenance industrielle et leurs types :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.1. INTRODUCTION :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE:</b> .....	<b>13</b>
<b>I.3. OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE :</b> .....	<b>13</b>
<b>I.4. LES TYPES DE MAINTENANCE :</b> .....	<b>15</b>
<b>I.4.1. La maintenance corrective :</b> .....	<b>15</b>
<b>I.4.2. Opérations de la maintenance corrective :</b> .....	<b>15</b>
<b>I.4.3. Différents types de maintenance corrective :</b> .....	<b>16</b>
<b>I.4.3.1. La maintenance palliative :</b> .....	<b>16</b>
<b>I.4.3.2. La maintenance curative:</b> .....	<b>16</b>
<b>I.4.4. Maintenance préventive :</b> .....	<b>16</b>
<b>I.4.5. Objectifs de la maintenance préventive :</b> .....	<b>17</b>
<b>I.4.6. Différents types de maintenance préventive</b> .....	<b>17</b>
<b>I.4.6.1. La maintenance préventive systématique :</b> .....	<b>17</b>
<b>I.4.6.2. La maintenance préventive conditionnelle :</b> .....	<b>18</b>
<b>I.4.7. Opérations de la maintenance préventive :</b> .....	<b>18</b>
<b>I.5. CARACTERISTIQUE DES ACTIVITES DE MAINTENANCE.</b> .....	<b>19</b>
<b>I.6. CONCLUSION :</b> .....	<b>20</b>
<b>II. Les outils de maintenance preventive et la surete de fonctionnement</b> .....	<b>21</b>
<b>II.1. INTRODUCTION :</b> .....	<b>21</b>
<b>II.2. TECHNIQUES DE SURVEILLANCE UTILISEES EN MAINTENANCE PREVENTIVE :</b> .....	<b>21</b>
<b>II.2.1. La thermographie infrarouge :</b> .....	<b>21</b>
<b>II.2.1.1. Définitions</b> .....	<b>21</b>
<b>II.2.1.2. Principe de base</b> .....	<b>22</b>
<b>II.2.1.3. Généralités sur l'infrarouge</b> .....	<b>22</b>
<b>II.2.1.4. Différents instruments de mesure</b> .....	<b>22</b>
<b>II.2.1.5. Quelques exemples de défauts détectés par caméra infrarouge :</b> .....	<b>23</b>
<b>II.2.2. Surveillance et analyse des huiles industrielles</b> .....	<b>23</b>
<b>II.2.2.1. Généralités</b> .....	<b>23</b>
<b>II.2.2.2. . L'analyse d'huile :</b> .....	<b>23</b>
<b>II.2.2.3. Description des différents types d'analyse</b> .....	<b>24</b>
<b>II.2.3. L'analyse acoustique</b> .....	<b>26</b>
<b>II.2.4. L'analyse vibratoire</b> .....	<b>26</b>
<b>II.2.4.1. Vibrations des machines tournantes</b> .....	<b>26</b>
<b>II.2.4.2. Les capteurs de vibration</b> .....	<b>26</b>
<b>II.2.4.3. La surveillance vibratoire</b> .....	<b>28</b>
<b>II.3. LA MAINTENANCE ET LA SURETE DE FONCTIONNEMENT :</b> .....	<b>28</b>
<b>II.3.1. Etude de FMD</b> .....	<b>28</b>

<i>II.3.1.1. La fiabilité:</i> .....	28
<i>II.3.1.2. Les différents types de fiabilité:</i> .....	29
<i>II.3.1.3. Paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité</i> .....	29
<i>II.3.1.4. Loi de Weibull:</i> .....	30
<i>II.3.1.5. Fiabilité d'un système</i> .....	34
<i>II.3.1.6. Rôle de La maintenance préventive constitue</i> .....	35
<i>II.3.1.7. La maintenabilité:</i> .....	36
<i>II.3.1.8. La disponibilité:</i> .....	37
<i>II.3.2. La courbe ABC</i> .....	37
<i>II.3.2.1. Objectif</i> .....	37
<i>II.3.2.2. Graphique sous forme d'histogramme</i> .....	38
<i>II.3.2.3. Intérêt</i> .....	38
<i>II.3.2.4. Méthodologie</i> .....	38
<i>II.3.3. La relation entre MUT, MTBF, et MTTR</i> .....	39
<i>II.3.4. La relation entre les notions FMD</i> .....	39
<i>II.4. CONCLUSION</i> .....	40
<b>III. Presentation de l'entreprise (station production électrique SONELGAZ).</b> .....	<b>41</b>
<i>III.1. INTRODUCTION</i> .....	<i>41</i>
<i>III.2. DESCRIPTION DE LA CENTRALE M'SILA</i> .....	<i>42</i>
<i>III.2.1. DESCRIPTION DES SYSTEMES ET DES EQUIPEMENTS</i> .....	<i>44</i>
<i>III.2.1.1. Poste gaz:</i> .....	<i>44</i>
<i>III.2.1.2. Turbine à gaz</i> .....	<i>47</i>
<i>III.2.1.3. Alternateurs</i> .....	<i>53</i>
<i>III.2.1.4. Transformateur principal 53MVA TP 21/22</i> .....	<i>54</i>
<i>III.3. CONCLUSION</i> .....	<i>55</i>
<b>IV. Amélioration de production par l'application de maintenance préventive systématique et conditionnelle</b> .....	<b>56</b>
<i>IV.1. INTRODUCTION :</i> .....	<i>56</i>
<i>IV.2. HISTORIQUE DES PANNES</i> .....	<i>56</i>
<i>IV.3. CALCUL LES PARAMETRES DE WEIBULL</i> .....	<i>56</i>
<i>IV.3.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)</i> .....	<i>60</i>
<i>IV.3.2. Les paramètres de loi de WEIBULL</i> .....	<i>61</i>
<i>IV.3.2.1. Le MTBF</i> .....	<i>61</i>
<i>IV.3.2.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF</i> .....	<i>61</i>
<i>IV.3.2.3. La fonction de répartition en fonction de MTBF</i> .....	<i>61</i>
<i>IV.3.2.4. La fiabilité en fonction de MTBF</i> .....	<i>62</i>
<i>IV.3.2.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF</i> .....	<i>62</i>
<i>IV.3.3. Étude du modèle de Weibull</i> .....	<i>62</i>
<i>IV.3.3.1. La fonction de la densité de probabilité</i> .....	<i>63</i>
<i>IV.3.3.2. Fonction de répartition F(t)</i> .....	<i>64</i>
<i>IV.4. LA FIABILITE</i> .....	<i>65</i>

<i>IV.4.1. Le taux de défaillance</i> .....	68
<i>IV.5. LA MAINTENABILITE</i> .....	71
<i>IV.6. LA DISPONIBILITE</i> .....	74
<i>IV.6.1. La disponibilité intrinsèque théorique</i> .....	74
<i>IV.6.2. La disponibilité instantanée</i> .....	75
<i>IV.7. AMELIORATION DE LA FIABILITE PAR L'APPLICATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE</i> .....	78
<i>IV.7.1. L'application Pratique des méthodes d'analyse</i> .....	79
<i>IV.7.1.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»</i> .....	79
<i>IV.7.2. La courbe ABC</i> .....	79
<i>IV.7.2.1. Interprétation des résultats</i> .....	80
<i>IV.8. APPLICATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE A LA SOCIETE DE SONELGAZ</i> .....	82
<i>L'inspection par boroscopie</i> .....	82
<i>IV.9. CONCLUSION</i> .....	83
<b>V. Conclusion générale</b> .....	84
<b>VI. Bibliographie</b> .....	85

# Liste des figures

<i>Figure I:1 : schéma des objectifs de maintenance</i>	14
<i>Figure I:2 Schémas type de maintenance</i>	15
<i>Figure I:3Equilibre maintenance curative/préventive</i>	19
<i>Figure II:1 Exemple de défaut sur une installation électrique</i>	23
<i>Figure II:2Défaut d'engrenage Avant et après correction</i>	23
<i>Figure II:3vicosimètre à bille</i>	24
<i>Figure II:4 Rhéomètre</i>	25
<i>Figure II:5 Exemple mesurent viscosité cinématique.</i>	25
<i>Figure II:6 : prosimètre monte sur un palier.</i>	27
<i>Figure II:7 schémas de principe d'une vélocimétrie.</i>	27
<i>Figure II:8 Schéma de principe d'un accéléromètre</i>	27
<i>Figure II:9 Taux de défaillance, Courbe en baignoire</i>	30
<i>Figure II:10: Principales propriétés de la distribution de Weibull</i>	32
<i>Figure II:11 Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution deWeibull</i>	32
<i>Figure II:12Redressement de la courbe par translation</i>	33
<i>Figure II:13 Composants en série.</i>	34
<i>Figure II:14 Composants en parallèle.</i>	35
<i>Figure II:15 Effet de la maintenance sur la fiabilité</i>	35
<i>Figure II:16 schématise ces actions.</i>	36
<i>Figure II:17 probabilités de réparation au cours de temps</i>	36
<i>Figure II:18: La Courbe ABC</i>	38
<i>Figure II:19 La relation entre MUT, MTBF, et MTTR</i>	39
<i>Figure II:20 Relation entre les paramètres FMD</i>	39
<i>Figure III:1 Etablissement de central électrique</i>	44
<i>Figure III:2 Photo Poste de gaz dans central électrique M'Sila</i>	44
<i>Figure III:3 Le schéma de système alimentation de gaz</i>	46
<i>Figure III:4 Schéma d'une turbine à gaz à une ligne d'arbre.</i>	47
<i>Figure III:5 Rotor du Compresseur de la turbine à gaz MS 5001</i>	48
<i>Figure III:6 Chambre de combustion de la turbine à gaz MS 5001p.</i>	49
<i>Figure III:7 Schémas d'une chambre de combustion.</i>	49
<i>Figure III:8 Détecteur de flamme ultraviolette.</i>	50
<i>Figure III:9 Système d'admission, filtre à air.</i>	51
<i>Figure III:10 Circuit d'air de refroidissement et d'étanchéité.</i>	53
<i>Figure III:11 représente transformateur principal 53 MVA TP21/22</i>	54
<i>Figure IV:1 Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel Fiab-Optim pour l'année 2013</i>	59
<i>Figure IV:2 Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel Fiab-Optim pour l'année 2014</i>	59
<i>Figure IV:3 Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel Fiab-Optim pour l'année 2015</i>	60
<i>Figure IV:4 Papier de Weibull : résultat de logiciel Fiab-Optim pour l'année 2016</i>	60
<i>Figure IV:5 Les courbes de densité de probabilité pour les années 2013 et 2014</i>	64
<i>Figure IV:6 Les courbes de densité de probabilité pour les années 2015 et 2016</i>	64
<i>Figure IV:7 Les courbes de fonction de répartition pour les années 2013 et 2014</i>	65
<i>Figure IV:8 Les courbes de fonction de répartition pour les années 2015 et 2016</i>	65
<i>Figure IV:9 Les courbes de la fonction de fiabilité pour les années 2013 et 2014</i>	68

<i>Figure IV:10</i> Les courbes de la fonction de fiabilité pour les années 2015 et 2016	68
<i>Figure IV:11</i> Les courbes du taux de défaillance pour les années 2013 et 2014	71
<i>Figure IV:12</i> Les courbes du taux de défaillance pour les années 2015 et 2016	71
<i>Figure IV:13</i> Les courbes de maintenabilité pour les années 2013 et 2014	74
<i>Figure IV:14</i> Les courbes de maintenabilité pour les années 2015 et 2016	74
<i>Figure IV:15</i> Les courbes de disponibilité instantanée pour les années 2013 et 2014	78
<i>Figure IV:16</i> Les courbes de disponibilité instantanée pour les années 2014 et 2016	78
<i>Figure IV:17</i> La courbe ABC	80
<i>Figure IV:18</i> Fissure axiale au niveau du bandage d'une aube (côté bords de fuite)	83
<i>Figure IV:19</i> Surchauffe au niveau des extrémités des ailettes	83
<i>Figure IV:20</i> Fissure au niveau de l'interconnexion des segments d'aube	83
<i>Figure IV:21</i> Erosion sur le sommet (extrémité) d'une ailette	83

# Liste des tableaux

<b>Tableau II.1 Les paramètre de la sûreté de fonctionnement</b>	<b>28</b>
<b>Tableau III.1 Tableau caractéristique de l'Unité de M'sila</b>	<b>43</b>
<b>Tableau III.2 caractéristiques des groupes</b>	<b>43</b>
<b>Tableau IV.1 Historique de panne de station de production électrique (M'sila 3)</b>	<b>56</b>
<b>Tableau IV.2 Fonction de réparation réelle et théorique pour les années 2013 et 2014</b>	<b>57</b>
<b>Tableau IV.3 Fonction de réparation réelle et théorique pour les années 2015 et 2016</b>	<b>58</b>
<b>Tableau IV.4 les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2013</b>	<b>58</b>
<b>Tableau IV.5 les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2014</b>	<b>59</b>
<b>Tableau IV.6 les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2015</b>	<b>59</b>
<b>Tableau IV.7 les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2016</b>	<b>60</b>
<b>Tableau IV.8 les valeurs de <math>D_n</math> max et de <math>D_n\alpha</math> pour les années 2013, 2014, 2015 et 2016</b>	<b>61</b>
<b>Tableau IV.9 la densité de probabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement pour quatre ans</b>	<b>61</b>
<b>Tableau IV.10 La fonction de répartition en fonction de MTBF pour quatre ans</b>	<b>62</b>
<b>Tableau IV.11 la fiabilité en fonction de MTBF pour quatre ans</b>	<b>62</b>
<b>Tableau IV.12 Le taux de défaillance en fonction de MTBF pour quatre ans</b>	<b>62</b>
<b>Tableau IV.13 Calcul de la densité de probabilité pour les quatre ans</b>	<b>63</b>
<b>Tableau IV.14 Calcul de la fiabilité pour les quatre ans (2013 et 2014)</b>	<b>66</b>
<b>Tableau IV.15 Calcul de la fiabilité pour les quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016)</b>	<b>67</b>
<b>Tableau IV.16 Calcul du taux de défaillance pour quatre ans (2013 et 2014)</b>	<b>69</b>
<b>Tableau IV.17 Calcul du taux de défaillance pour quatre ans (2015 et 2016)</b>	<b>70</b>
<b>Tableau IV.18 Calculs de la maintenabilité pour quatre ans (2013 et 2014)</b>	<b>72</b>
<b>Tableau IV.19 Calculs de la maintenabilité pour quatre ans (2015 et 2016)</b>	<b>73</b>
<b>Tableau IV.20 Calcul de disponibilité intrinsèque théorique pour les quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016)</b>	<b>75</b>
<b>Tableau IV.21 de disponibilité instantanée pour les années 2013 et 2014</b>	<b>76</b>
<b>Tableau IV.22 de disponibilité instantanée pour les années 2015 et 2016</b>	<b>77</b>
<b>Tableau IV.23 Le temps de bon fonctionnement additionné pour améliorer la fiabilité à 80%.</b>	<b>79</b>
<b>Tableau IV.24 les données pour tracer la courbe ABC</b>	<b>79</b>
<b>Tableau IV.25 Préconésation des éléments les plus défaillants de la courbe ABC</b>	<b>81</b>
<b>Tableau IV.26 Techniques de maintenance préventive proposées</b>	<b>82</b>

# GLOSSAIRE

<b>MTBF</b>	<b>La durée moyenne entre deux défaillances consécutives. [heure]</b>
<b>MTTR</b>	<b>Le temps moyen mis pour réparer le système.[heure]</b>
<b><math>\lambda</math> (t)</b>	<b>Taux de défaillance.(panne/heure)</b>
<b>TBF</b>	<b>Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.[heure]</b>
<b>f (t)</b>	<b>Densité de probabilité.</b>
<b>F (t)</b>	<b>La fonction de répartition.</b>
<b>R (t)</b>	<b>La fonction de fiabilité.</b>
<b>M(t)</b>	<b>Fonction maintenabilité.</b>
<b>D (t)</b>	<b>Fonction de disponibilité.</b>
<b>Dn</b>	<b>La différence de test de Kolmogorov Smirnov.</b>
<b><math>\mu</math> (t)</b>	<b>Taux de réparation. (intervention/heure)</b>
<b>a et b</b>	<b>nombre réel.</b>
<b>FMD</b>	<b>Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.</b>
<b><math>\Gamma</math></b>	<b>Paramètre de position.</b>
<b><math>\eta</math></b>	<b>Paramètre d'échelle</b>
<b>Di</b>	<b>Disponibilité intrinsèque.</b>
<b>B</b>	<b>paramètre de forme.</b>
<b><math>\Gamma</math></b>	<b>Paramètre de position.</b>
<b>UT</b>	<b>Temps entre défaillances</b>
<b>MUT</b>	<b>Moyenne temps entre défaillances</b>
<b>T max</b>	<b>température maximale (°C)</b>
<b>n</b>	<b>vitesse de rotation. [tr/min]</b>

## **Introduction Générale**

Le développement économique qu'a connu la dernière décennie a engendré une concurrence intense entre les secteurs industriels.

Cette concurrence s'est propagée sur le plan international et s'est caractérisée par l'implantation des entreprises étrangères partout dans le monde et parfois dans le même pays et ce, pour des raisons économiques et logistiques (près des marchés/clients et/ou près des matières premières).

Dans le domaine de l'automatisation, l'évolution technique a contribué à l'amélioration de la situation des entreprises industrielles en termes de fiabilité et de réduction du nombre d'interventions.

Cette amélioration s'accompagne par une bonne gestion des outils et moyens techniques et une exigence en personnels de plus en plus spécialisés. Malgré le niveau de fiabilité atteint, le «zéro panne» reste impossible. [1]

Dans ce cadre, la maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises industrielles, liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution.

Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et d'éviter les dysfonctionnements au moindre coût. Au fil de ces changements, l'activité des personnels de maintenance a également évolué. Pour combiner les compétences technologiques, organisationnelles et relationnelles ; le champ de la maintenance industrielle regroupe les activités de maintenance qui se déroulent dans un milieu industriel, ce champ, exclus la maintenance des matériels de transport, des bâtiments ainsi que la réparation (service après-vente) des matériels de la grande industrie : mécanique, électronique, informatique...etc. [2-3].

Cette étude a pour objet la définition d'une méthodologie visant l'amélioration de la maintenance préventive d'un système soumis à des objectifs stricts de fiabilité et de disponibilité et ce, à l'aide de méthodes propres au domaine de la fiabilité.

Le concept de maintenance préventive englobe l'ensemble des activités d'exploitation, tels que les essais périodiques, les inspections routinières, les lectures régulières des capteurs et l'entretien préventif, visant à s'assurer d'une fiabilité et d'une disponibilité maximale d'un système ou d'un équipement. Par opposition, la maintenance corrective s'attarde à remettre en état un équipement ou un système en panne.

Un programme du type prédictif est donc une voie tracée vers l'optimisation du programme de maintenance préventive car le remplacement des composants est basé sur une observation de leurs conditions. À l'inverse, un programme du type périodique ne fait pas intervenir une telle observation, ce qui peut entraîner le remplacement hâtif de composants jugés encore aptes à remplir leurs fonctions. Idéalement, un système qui est l'objet d'un programme efficace de maintenance préventive ne devrait pas être sujet aux phénomènes de vieillissement. Le vieillissement est un processus progressif, généralement invisible, qui entraîne une diminution de la fiabilité d'un système ou d'un équipement. Les mécanismes associés au vieillissement sont divers et variés. On peut citer les mécanismes les plus fréquents, tels que l'usure, la corrosion, la déformation qui sont habituellement plus évidents. D'autres, par contre, sont quasiment impossibles à détecter, tels que le vieillissement naturel des matériaux ou la propagation des fissures. Les causes de ces mécanismes de vieillissement sont les surcharges, les transitoires d'opération associés aux démarrages, aux arrêts ou aux changements de puissance.

Même lorsqu'il est à l'arrêt complet, un équipement peut continuer à se dégrader sous l'effet de l'environnement auquel il est soumis. Les vibrations, la température ou une atmosphère corrosive sont des exemples de tels mécanismes qui agissent en fonction du temps. Si ces mécanismes ne sont pas correctement pris en compte par le biais du programme de maintenance préventive, il est à prévoir que des défaillances surviendront et pourraient éventuellement, dans les pires scénarios, avoir des conséquences graves sur la sécurité du personnel, la sûreté de l'installation ou de l'environnement.

Cependant, il n'est pas toujours possible, surtout pour des raisons économiques, de déceler une dégradation ou d'en mitiger les conséquences. On sera alors confronté à la recherche d'un optimum pour l'effort requis de maintenance préventive, si l'on veut atteindre le niveau voulu de fiabilité. Or, la fiabilité d'un équipement ou d'un système est reliée à l'effort déployé de maintenance préventive. Un équipement qui n'est aucunement soumis à un programme de maintenance préventive, aura certainement une fiabilité inférieure à celui qui est l'objet d'un programme minimal. La fiabilité d'un équipement qui n'est pas l'objet de maintenance préventive sera qualifiée de naturelle. Un équipement objet d'un programme minimal de maintenance préventive aura une fiabilité qualifiée d'intrinsèque.

Lorsqu'un objectif de fiabilité est fixé, ce programme minimal ne s'avèrera probablement pas adéquat, car l'on cherche alors à minimiser les défaillances engendrées par des mécanismes de vieillissement qui se développe avec le temps [14].

Dans notre travail, on va appliquer une stratégie de maintenance efficace d'un système électromécanique basée sur la maintenance préventive pour améliorer le niveau de la sûreté de fonctionnement du système électromécanique choisi. Pour atteindre cet objectif, le mémoire est structuré en quatre chapitres résumés comme suit :

- Le premier chapitre présentera une vue générale sur la maintenance : définitions et classification de leurs types.
- Le deuxième chapitre exposera les outils de maintenance et la sûreté de fonctionnement.
- Le troisième chapitre illustrera une présentation la station de production électrique(SPE) SONELGAZ dans la wilaya de M'sila, qu'on va faire notre stage pratique.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'amélioration de la production de la station de production électrique par l'utilisation les opérations et les techniques de maintenance préventive

A la fin, une conclusion exposera tous ce qu'on va faire dans ce mémoire, et elle montra l'intérêt des résultats qu'on va obtenir.

# Chapitre I :

## I. Maintenance industrielle et leurs types :

### I.1. Introduction :

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

### I.2. Définition de la maintenance:

D'après l'AFNOR (NF X 60-010), la maintenance est définie comme un ensemble des actions permettant de *maintenir* ou de *rétablir* un bien dans un *état spécifié* ou en mesure d'assurer un *service déterminé*. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal. *Commentaires:*

-Maintenir : contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.

-Rétablir : contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.

État spécifié ou service déterminé : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.

-Coût optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité. [7]

### I.3. Objectifs de la maintenance :

La maintenance a les objectifs suivants (voir figure (I.1)) :

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes)
- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple: améliorer la productivité). [6]

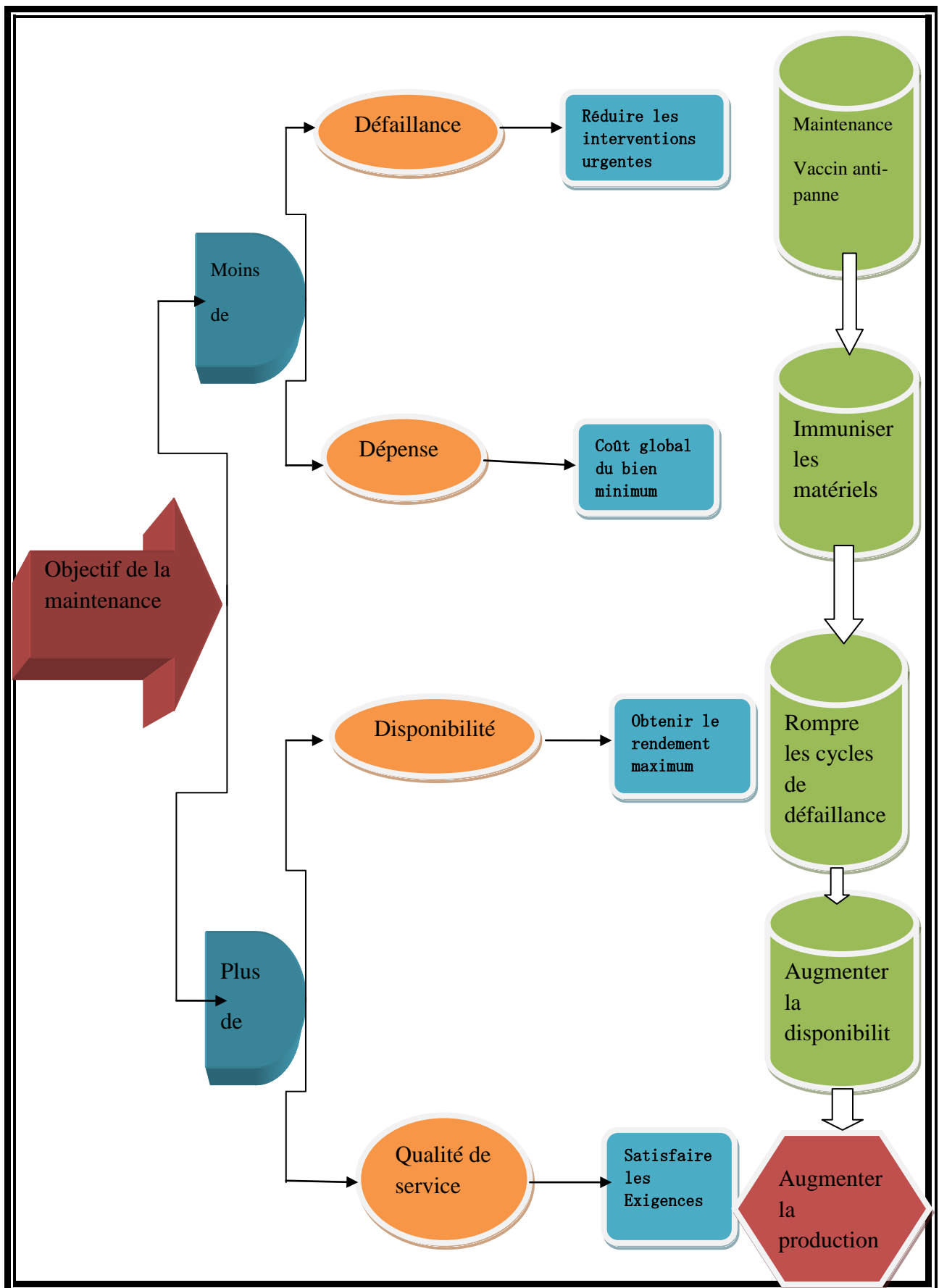


Figure I:1 : schéma des objectifs de maintenance

### I.4. Les types de maintenance :

Généralement, il y a deux méthodes de maintenance:

La maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances. [6]

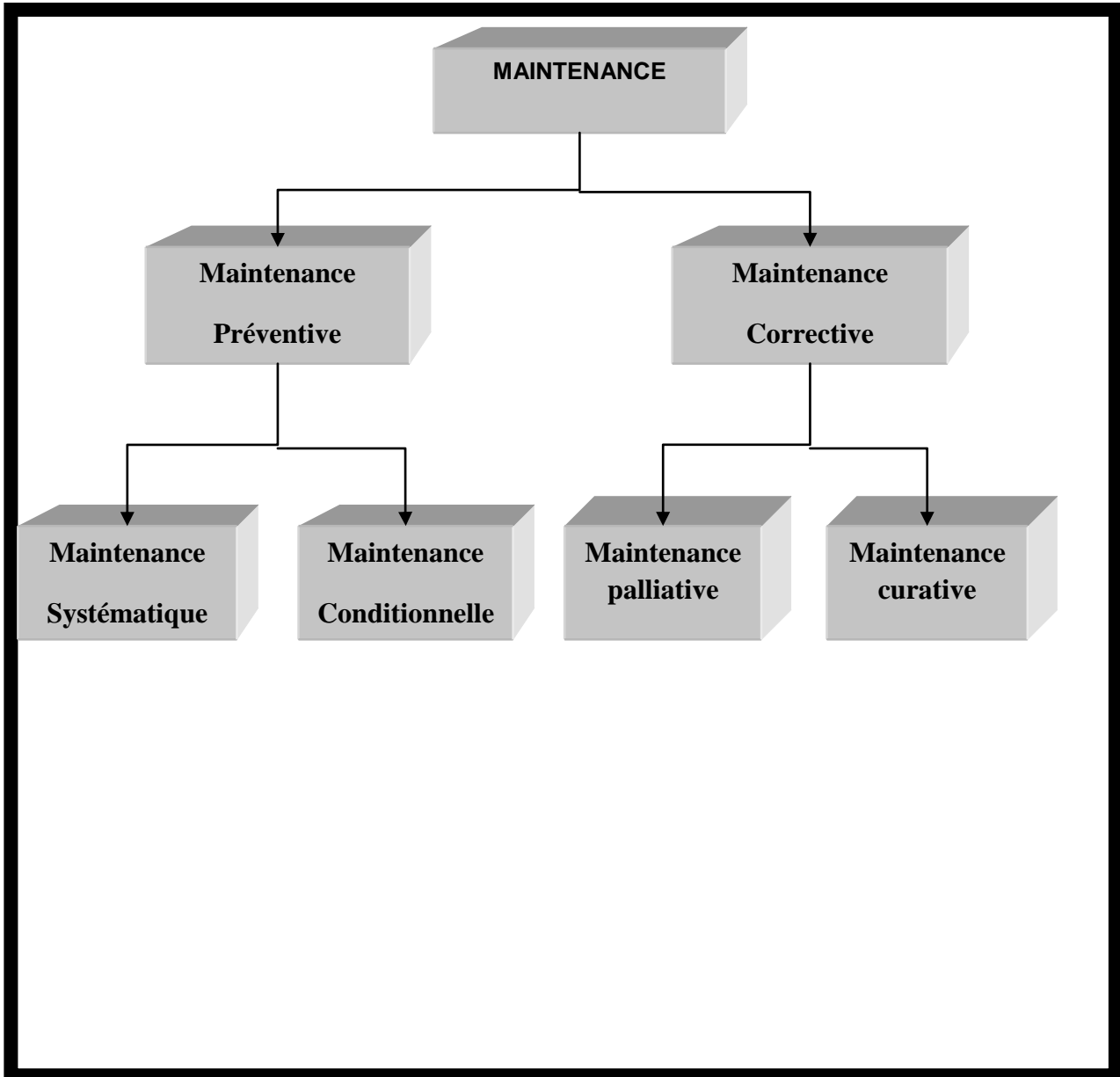


Figure I:2 Schémas type de maintenance

#### I.4.1. La maintenance corrective :

Définition AFNOR (norme X 60-010) : «Opération de maintenance effectuée après défaillance ». La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (**subir**) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel.

#### I.4.2. Opérations de la maintenance corrective :

Après apparition d'une défaillance, le maintenancier doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous.

Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- test : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- détection ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- Localisation ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- diagnostic ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- dépannage, réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
- contrôle du bon fonctionnement après intervention.
- amélioration éventuelle : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- Historique ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention :

- Elle peut être faible (de quelques secondes pour réarmer un disjoncteur ou changer un fusible à quelques minutes pour changer un joint qui fuit).
- Elle peut être très importante (de 0,5 à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation).
- Elle peut être majeure en cas de mort d'homme (plusieurs jours si enquête de police).[7]

### **I.4.3. Différents types de maintenance corrective :**

#### **I.4.3.1. La maintenance palliative :**

« Activité de maintenance corrective destinées à permettre de bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise.

Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curative »

#### **I.4.3.2. La maintenance curative:**

C'est une activité ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances. .

La maintenance optimale est donc un mélange harmonieux d'entretien préventif systématique et d'entretien correctif. [5]

### **I.4.4. Maintenance préventive :**

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

Dans une entreprise, *maintenir*, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité. [7]

### **I.4.5. Objectifs de la maintenance préventive :**

#### ➤ **Améliorer la fiabilité du matériel**

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

#### ➤ **Garantir la qualité des produits**

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

#### ➤ **Améliorer l'ordonnancement des travaux**

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

Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

#### ➤ **Assurer la sécurité humaine**

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

#### ➤ **Améliorer la gestion des stocks**

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks.

On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

#### ➤ **Améliorer le climat de relation humaine**

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

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

- La sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes ;
- La fiabilité : amélioration, connaissance des matériels ;
- La production : moins de pannes en production. [4]

### **I.4.6. Différents types de maintenance préventive**

#### **I.4.6.1. La maintenance préventive systématique :**

C'est la Maintenance préventive effectuée selon un échancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

**Cas d'application :**

- Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée) : appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.....
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tout matériel assurant le transport en commun des personnes, avions, trains, etc.....
- Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques), etc.....

**I.4.6.2. La maintenance préventive conditionnelle :**

On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé). C'est la maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc....).

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles.

Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Tout le matériel est concerné ; cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
  - Les températures et les pressions.
  - La tension et l'intensité du matériel électrique.
  - Les vibrations et les jeux mécaniques.
- Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis, il est rentabilisé rapidement. [7]

**I.4.7. Opérations de la maintenance préventive :**

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

- **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).
- **Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement.

Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.

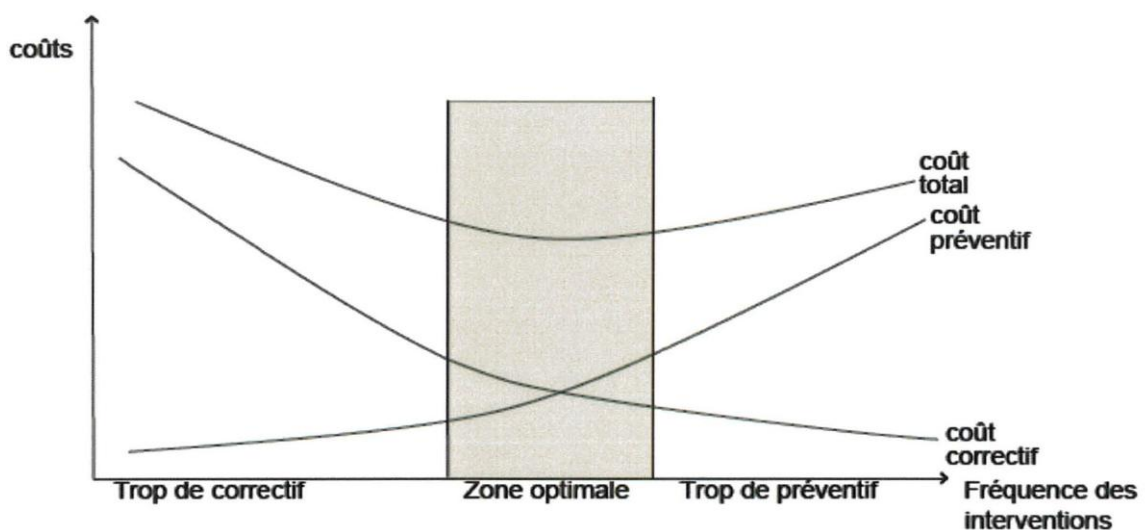
- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.
  - **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
  - **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien.

Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4. Les trois premières opérations sont encore appelées « **opérations de surveillance** ». Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien. On accepte donc de payer pour savoir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage. [7]

### **I.5. Caractéristique des activités de maintenance.**

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive.

De plus l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance liés à l'investissement humain et matériel, et les pertes consécutives aux arrêts de la production.



**Figure I:3** *Equilibre maintenance curative/préventive*

La figure illustre les effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive. L'augmentation du nombre d'interventions

sur le système permet de réduire les effets indésirables engendrés par une panne mais pénalise le fonctionnement du système. Il peut donc entraîner une augmentation du coût global d'exploitation du système dans la mesure où chaque opération de maintenance engendre un coût.[6]

### **I.6. Conclusion :**

La maintenance est une fonction essentielle de l'entreprise ; ses objectifs vont au-delà de remettre en état l'outil de travail, mais surtout d'anticiper des événements qui interviennent dans un environnement d'incertitudes, et de contribuer à la performance globale du système de production.

Dans ce chapitre, nous avons définis la maintenance, vu leurs méthodes (corrective et préventive) et cité leurs objectifs. Dans le prochain chapitre, on va voir les outils de maintenance préventive et les paramètres de la sureté de fonctionnement.

## Chapitre II

### II. Les outils de maintenance préventive et la sûreté de fonctionnement.

#### II.1. Introduction :

La surveillance d'un équipement de machine est assurée en relevant périodiquement un indicateur d'état de dégradation ou de performance, il existe différentes techniques d'analyse tels que l'analyse vibratoire, l'émission acoustique, la thermographie, l'analyse des huiles et des lubrifiants, la variation de résistance dans un circuit électrique, etc.... [8]

Surveiller une machine nécessite de procéder au choix préalable d'un certain nombre d'indicateurs. Un indicateur de surveillance est issu d'un paramètre ou d'une grandeur dont l'acquisition est faite le plus souvent possible en fonctionnement. Un indicateur doit, par définition, caractériser l'état ou les performances d'une machine. Son évolution dans le temps doit être significative de l'apparition ou de l'aggravation d'un défaut. La température d'un palier, le bruit, le spectre ou la forme du courant d'alimentation d'un moteur est autant d'indicateurs susceptibles de représenter l'état d'une machine et d'en suivre l'évolution dans le temps. Turbines, pompes, moteurs, compresseurs, alternateurs, centrifugeuses, ventilateurs... toutes ces machines, que l'on dit "tournantes", ont un point commun : elles comprennent des organes en rotation. Suivant les cas, il peut s'agir de structures relativement simples, constituées d'un seul arbre en rotation à travers un ou plusieurs roulements, ou de machines plus complexes composées de plusieurs arbres tournant à des vitesses de rotation différentes... Mais ce qui caractérise avant tout ces machines, c'est qu'elles sont composées d'organes fragiles (roulements, engrenages, coussinets...) soumis à des contraintes mécaniques importantes et à des environnements industriels difficiles. Les sources de défaillance sont donc multiples : l'écaillage d'un roulement, la rupture d'une dent d'un engrenage, le désalignement d'un des axes, etc. Lorsque la machine joue un rôle vital dans la production (c'est le cas des turbo-alternateurs), ces défauts peuvent s'avérer lourds de conséquences. Pour éviter des arrêts de production imprévus et les pertes économiques qui en découlent, il faut surveiller en permanence ces équipements et "traquer" tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard. Pour cela, il existe une grande variété de techniques. [12]

#### II.2. Techniques de surveillance utilisées en maintenance préventive :

##### II.2.1. La thermographie infrarouge :

###### II.2.1.1. Définitions

Un défaut sur un équipement se traduit toujours par une élévation de température, cette élévation, si elle ne se voit pas dans le visible, apparaît instantanément dans l'infrarouge, ainsi, la thermographie infrarouge est une technologie efficace de maintenance prédictive pour localiser les problèmes rapidement, en toute sécurité. Avec la thermographie infrarouge on peut visualiser les défauts avant

qu'une panne sur les installations ne se produit et qu'elle ait des conséquences fâcheuses : perturbation ou arrêt de la production jusqu'à un début d'un incendie dans le pire de cas.

#### II.2.1.2. Principe de base

La totalité de l'énergie émise par une surface et la distribution spectrale de cette énergie varie avec la température, en général aux basses températures le maximum de radiations est dans le moyen infrarouge (2 à 20 $\mu$ ). Au fur et à mesure que la température s'élève, l'énergie émise s'élève et le gros de l'énergie va vers des longueurs d'ondes de plus en plus courtes.[12]

#### II.2.1.3. Généralités sur l'infrarouge

On parle d'ultraviolet, fréquence au-delà du violet, alors que la longueur d'onde du violet est plus courte. On parle aussi d'infrarouge, fréquence en delà du rouge, alors que la longueur d'onde du rouge est plus longue. C'est à dire que l'infrarouge est moins puissant, moins énergétique que l'ultraviolet. En parlant en longueur d'onde, l'infrarouge se situe donc au-delà de 0,8  $\mu$ m, et il regroupe les longueurs d'onde des rayonnements de la matière plus froide que celle chaude comme la lampe à incandescence, est vue directement avec nos yeux. Nous ne voyons donc pas le rayonnement infrarouge avec nos yeux. La lampe dite "infrarouge" est moins alimentée que la lampe à incandescence normale : elle consomme moins d'énergie et est donc plus froide. Elle est conçue pour émettre principalement dans l'infrarouge, pour chauffer moins qu'une lampe normale. Ainsi, la thermographie est rapide, tout autant que sa mise en œuvre, elle procure une vision immédiate, globale et discriminative. C'est une méthode puissante de vision du froid, du plus chaud ou du plus froid.

#### II.2.1.4. Différents instruments de mesure

##### ➤ Le thermomètre infrarouge

Les thermomètres infrarouges sont particulièrement recommandés dans des domaines où la mesure de température par contact est impossible: - nécessite une réponse rapide - sur des objets en mouvement - derrière une fenêtre - si le thermomètre peut être détruit par le contact - si un profil de température existe sur la surface - si la température peut être affectée par le contact

##### ➤ La caméra infrarouge.

La caméra infrarouge ne mesure pas les températures, mais les rayonnements, alors que, visualisée par le thermographe, l'image thermique que la caméra fournit pourra être transformée en thermo-gramme, en images des températures. C'est bien ce que l'on cherche pour déterminer l'état de santé des matériels et surtout prévoir ce qui se passera dans l'avenir, en maintenance prédictive. Le thermographe, aidé de sa caméra, va voir dans l'infrarouge les objets froids et, parmi ces objets, ceux qui sont anormalement chauds ou anormalement froids. Ayant vu, le thermographe pourra quantifier et fournir une cartographie des températures

### II.2.1.5. Quelques exemples de défauts détectés par caméra infrarouge :

#### ➤ Installation électrique

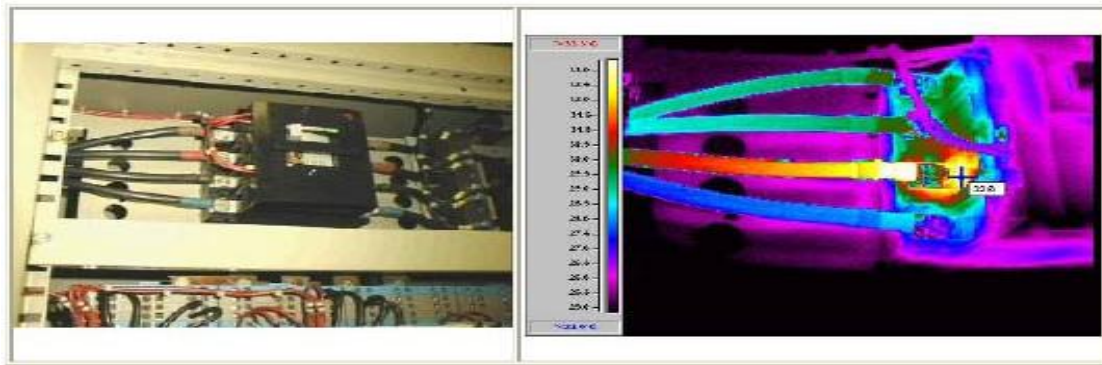


Figure II:1 Exemple de défaut sur une installation électrique

#### ➤ Installations mécaniques

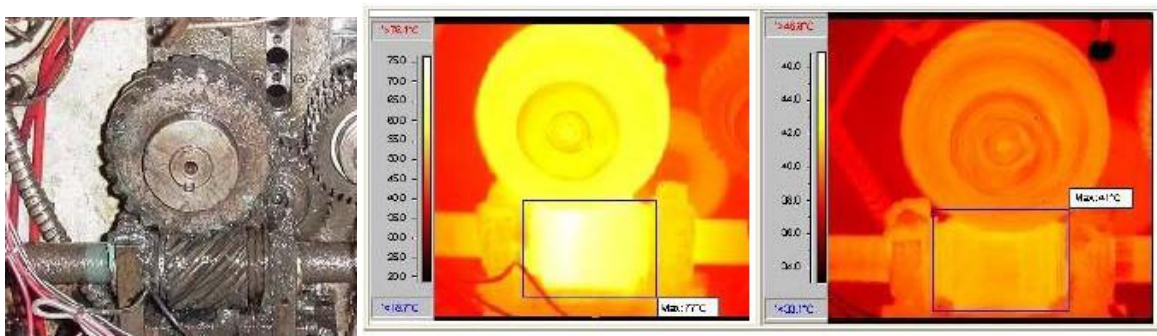


Figure II:2 Défaut d'engrenage Avant et après correction

Les programmes de Maintenance Conditionnelle par thermographie permettent de localiser les points chauds bien avant leur évolution vers une situation grave pour l'entreprise. Eviter les arrêts de production, par des programmes de maintenance et de contrôles de qualité, est un objectif que la thermographie permet d'atteindre très vite. [12]

## II.2.2. Surveillance et analyse des huiles industrielles

### II.2.2.1. Généralités

Le principe de la surveillance des lubrifiants repose sur le prélèvement représentatif de leur charge dans un système en fonctionnement afin de réaliser une éventuelle analyse pour une détermination de niveaux de dégradation et de contamination. Une comparaison des résultats obtenus avec ceux des prélèvements antérieurs permet de suivre l'évolution de ces lubrifiants afin d'en déduire l'état de santé d'un équipement de production. Le lubrifiant est maintenu en service si les niveaux de dégradation et de contamination ne dépassent pas le seuil admissible prévu, dans le cas contraire il est impératif de procéder au remplacement de la charge d'huile après vérification, à moins qu'il existe une possibilité d'intervention pour corriger par des actions de maintenance adaptée, les anomalies observées.

### II.2.2.2. L'analyse d'huile :

- L'analyse des lubrifiants en service contribue à optimiser les coûts de maintenance (*directs et indirects*) par une meilleure connaissance de l'état des machines et de l'évolution du lubrifiant. Cette

technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées. Cette méthode est complémentaire des suivis par analyses vibratoire et thermographique.

- L'analyse d'huile, pratiquée dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle,

### II.2.2.3. Description des différents types d'analyse

#### II.2.2.3.1. Analyses physico-chimiques :

##### ➤ La viscosité :

- La viscosité est essentielle puisque la comparaison avec celle du lubrifiant usagé permet de vérifier ses propriétés d'écoulement mais aussi son éventuelle dilution, par du carburant par exemple. Selon la norme *NF T 60-100*, il faut mesurer le temps d'écoulement d'une quantité de lubrifiant à travers un capillaire pourvu de deux repères déterminant une constante à une température donnée.[22]

##### ➤ Contrôle de la viscosité :

- Le contrôle de cette viscosité peut se faire à l'aide de plusieurs moyens, quelques-uns sont décrits ci- après :

- *Viscosimètre à billes*

On compare la vitesse de descente de deux billes dans deux tubes contenant respectivement, l'un l'huile à contrôler et l'autre une huile de référence. On lit directement la viscosité cinématique en face de la bille restée en retard

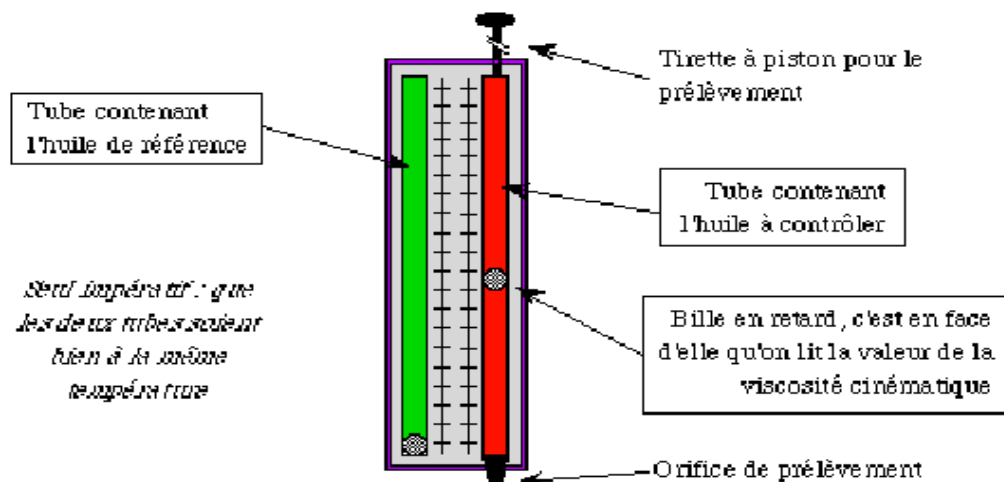


Figure II:3viscosimètre à bille

- *Rhéomètre*

Cet appareil mesure la viscosité dynamique de tous les fluides (*newtoniens ou non*). Cet appareil de grande précision est peu employé pour les huiles dans l'industrie, car son utilisation est plus délicate et son prix important. De la valeur du couple mesuré on déduit la viscosité dynamique.

- Le bol peut également être chauffé pour des essais à température.

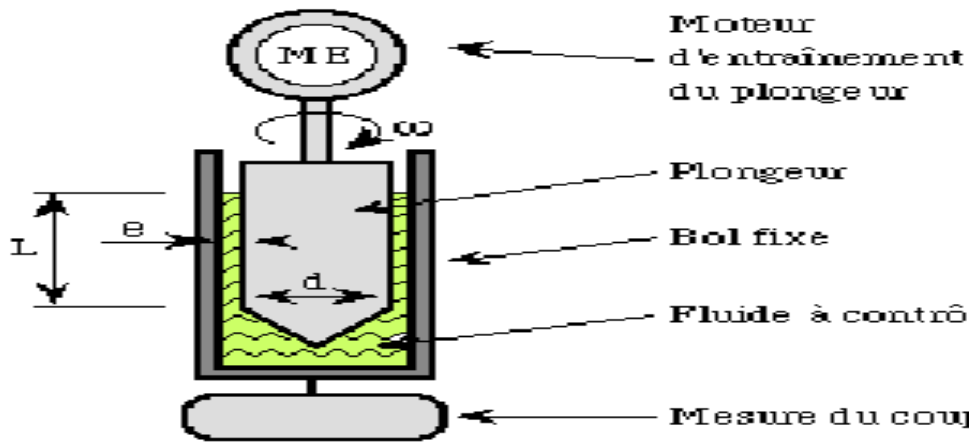


Figure II:4 Rhéomètre

- **Viscosimètre Engler**

Un des appareils courants en Europe est le viscosimètre Engler. La viscosité en degrés Engler était le quotient du temps d'écoulement de  $20 \text{ cm}^3$  d'huile à la température fixée, par le temps d'écoulement, déterminé une fois pour toutes, de  $200 \text{ cm}^3$  d'eau à  $20 \text{ °C}$ .

- Le temps était pris directement comme mesure dans le viscosimètre anglais Redwood et dans le viscosimètre américain Saybolt, tous deux de même type que le viscosimètre Engler. Un abaque permet la conversion des degrés Engler, ou des secondes Redwood, ou des secondes Saybolt, en  $[\text{mm}^2/\text{s}]$ .

- **Viscosimètre absolus**

Les viscosimètres modernes, dits viscosimètres « *absolus* », sont par exemple constitués d'un tube capillaire parfaitement calibré, dans lequel on fait couler l'huile à une certaine température, sous une dépression constante ou par gravité, un étalonnage étant réalisé à l'aide de fluides de référence de viscosité connue.

- Dans le premier cas, on mesure la durée de remplissage d'une capacité de faible volume surmontant le capillaire que l'huile traverse de bas en haut, ce qui permet d'accéder directement à la *viscosité dynamique*.

- Dans le second cas, la même capacité étant remplie par aspiration, on la laisse se vider à travers le capillaire, ce qui est plus simple et plus rapide, mais ne donne que la *viscosité cinématique*. [22]

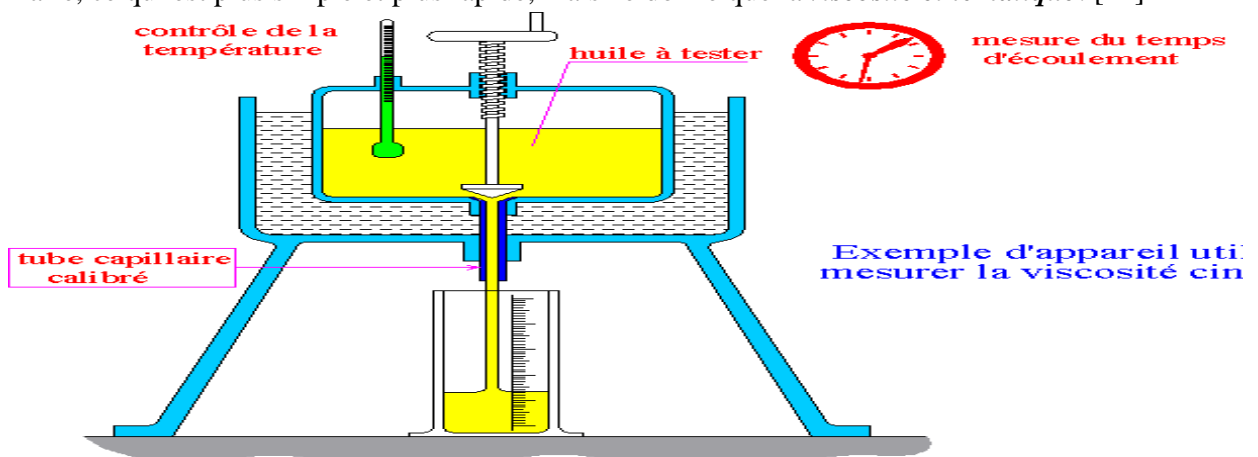


Figure II:5 Exemple mesurent viscosité cinématique.

### II.2.3. L'analyse acoustique

Moins répandues que les précédentes mais néanmoins intéressantes. L'analyse acoustique, permet de détecter tout bruit anormal à l'aide de microphones placés (le plus souvent) à distance de l'équipement, ou le **contrôle ultrasonore**, qui permet de détecter des défauts de faible amplitude à haute fréquence. Cette méthode permet également au contrôleur de déterminer les conditions de fonctionnement des équipements telles que : - les conditions de lubrification (trop, pas assez, graisse sale,), - les degrés d'usure, - les vibrations. Ces informations sont interprétées par le contrôleur qui dispose d'un casque d'écoute et d'une indication numérique et sont transformées, par la base de données, en consignes de maintenance (degré d'urgence). A titre d'information, de nombreuses enquêtes ont été réalisées en 1999 auprès d'utilisateurs industriels dans de multiples domaines. Avec leur aimable permission de reproduire les résultats de leurs enquêtes le tableau suivant donne le pourcentage des techniques utilisées régulièrement ou occasionnellement dans les industries. [12]

### II.2.4. L'analyse vibratoire

#### II.2.4.1. Vibrations des machines tournantes

En pratique, une bonne conception produira de faibles niveaux vibratoires dans une machine tournante. Cependant, la machine vieillissant, les fondations travaillent, les pièces se déforment et s'usent, et de légers changements dans ses propriétés dynamiques apparaissent. Les arbres se désalignent, les rotors se déséquilibrent, les courroies se détendent, les jeux augmentent. Tous ces facteurs se traduisent par une augmentation de l'énergie vibratoire qui excite les résonances et ajoute une charge dynamique considérable aux paliers.

Les vibrations recueillies lors des campagnes de mesures sont porteuses d'informations qui caractérisent l'état de fonctionnement de certains composants mécaniques constituant la machine analysée, c'est grâce à l'analyse de ces vibrations qu'il est possible de détecter les composants défectueux et éventuellement de les localiser, lorsqu'un certain seuil (correspondant à un niveau de vibration limite) fixé est atteint, il est possible d'estimer la durée de vie résiduelle du composant dans les conditions de fonctionnement données à partir de la connaissance des lois d'endommagement. [9]

#### II.2.4.2. Les capteurs de vibration

La première étape conduisant à l'obtention d'une lecture de vibration consiste à convertir la vibration mécanique produite par une machine en un signal électrique équivalent.

Cette opération est réalisée au moyen des capteurs de vibrations, on retrouve parmi les capteurs les plus couramment utilisés le prosimètre (mesure de déplacement), la vélocimétrie (mesure de vitesse) et l'accéléromètre (mesure d'accélération) [10].

##### ➤ Les prosimètres

Le prosimètre, ou sonde capteur de déplacement sans contact directement proportionnel au déplacement relatif de la vibration d'un arbre ou d'un rotor, il est monté en permanence à l'intérieur du palier [figure II.3], les mesures en déplacement ne sont pas quantifiables dans toutes les gammes de fréquence, ces mesures seront limitées aux basses fréquences (< 100 Hz). [15] Le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications ou la surveillance des jeux entre les arbres et les paliers s'avèrent essentielle.

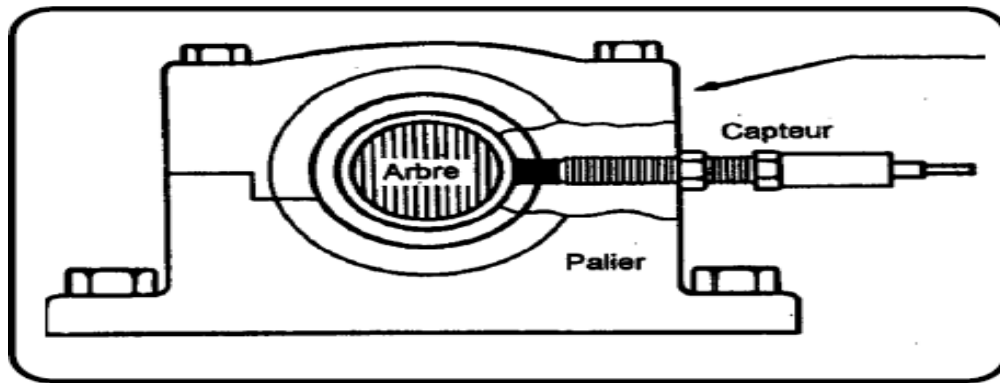


Figure II:6 : prosimètre monte sur un palier.

➤ **Vélocimétrie**

Les capteurs de vitesse, ou vélocimétrie, sont constitués d'une sonde a contact dite sonde sismique qui mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée.

- |                     |
|---------------------|
| 1. Aimant permanent |
| 2. Entrefer         |
| 3. Boîtier          |
| 4. Bobine           |
| 5&6. Membranes      |
| 7. Tige             |

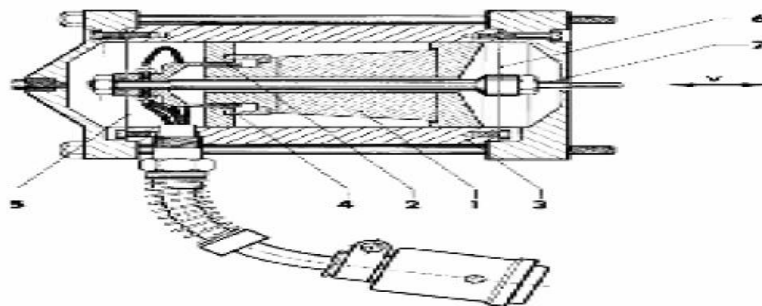


Figure II:II:7 schémas de principe d'une vélocimétrie.

➤ **Les accéléromètres**

Un accéléromètre piézoélectrique [figure] est composé d'un disque en matériau piézoélectrique (quartz), qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte

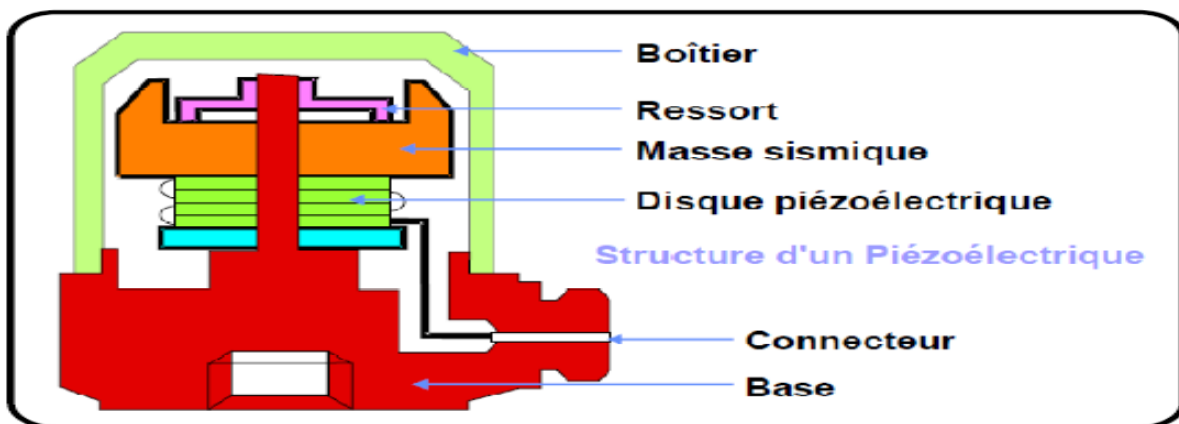


Figure II:8 Schéma de principe d'un accéléromètre

Les de vibration absolue les plus utilisés pour la surveillance. Ils possèdent les propriétés suivantes :

- Utilisables sur de très grandes gammes fréquentielles.
- Excellente linéarité sur une très grande gamme dynamique (typiquement 140 dB).
- Le signal d'accélération peut être intégré électroniquement pour donner le déplacement et la vitesse
- Aucun élément mobile, donc extrêmement durable.

### II.2.4.3. La surveillance vibratoire

Turbines, pompes, moteurs, compresseurs, alternateurs, centrifugeuses, ventilateurs...

Toutes ces machines, que l'on dit : tournantes, ont un point commun : elles comprennent des organes en rotation, suivant les cas, il peut s'agir de structures relativement simples,

Constituées d'un seul arbre en rotation à travers un ou plusieurs roulements, ou de machines plus complexes composées de plusieurs arbres tournant à des vitesses de rotation différentes... Mais ce qui caractérise avant tout ces machines, c'est qu'elles sont composées

D'organes fragiles (roulements et engrenages, notamment) soumis à des contraintes

Mécaniques importantes et à des environnements industriels difficiles. Les sources de Défaillance sont donc multiples : l'écaillage d'un roulement, la rupture d'une dent d'un engrenage, le désalignement d'un des axes, etc., lorsque la machine joue un rôle vital dans la production (c'est le cas par exemple d'une presse dans le domaine de l'imprimerie, d'un broyeur de cimenterie ou encore d'une centrifugeuse dans un réacteur chimique...), ces défauts peuvent s'avérer lourds de conséquences. Pour éviter des arrêts de production imprévus et les pertes économiques qui en découlent, il faut surveiller en permanence ces équipements et traquer tous les signes précurseurs de défauts avant qu'il ne soit trop tard. [11].

## II.3. La maintenance et la sûreté de fonctionnement :

Dans sa définition originelle, le terme "sûreté de fonctionnement" représente "l'ensemble des aptitudes d'un produit qui lui permettent de disposer des performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement" . La sûreté de fonctionnement couvre ainsi les quatre notions que sont la fiabilité, la sécurité, la maintenabilité et la disponibilité, auxquelles on peut ajouter, selon les applications, la serviabilité et l'invulnérabilité.

La sûreté dans son ensemble doit être étudiée d'un bout à l'autre de la conception du système. Elle se fera par:

- le choix des composants de la partie opérative : puissance et distribution d'énergie
- L'implantation des composants
- Le choix de la partie commande et de son câblage
- Les procédures de fonctionnement [12]

Sûreté de fonctionnement : aptitude assurer de service spécifique		
Fiabilité: Aptitude à ne pas présenter De défaillance Dans de durée déterminer	Maintenabilité: Aptitude à être Remise en service dans une durée donnée	Disponibilité: Aptitude à être en état de marche à instant donnée Ou pendent intervalle donnée

**Tableau II.1 Les paramètres de la sûreté de fonctionnement**

### II.3.1. Etude de FMD

#### II.3.1.1. La fiabilité:

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions et pour une durée donnée. Cette définition peut être formulée différemment :

la fiabilité d'une entité est la probabilité moyenne de non défaillance de cette entité sur un intervalle de temps donné. Les paramètres importants de la fiabilité sont donc les conditions d'utilisation du système, le temps ou le nombre de cycles.

La fiabilité d'un dispositif dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif.

### II.3.1.2. Les différents types de fiabilité:

- **Fiabilité intrinsèque** : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.
- **Fiabilité extrinsèque** : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine.
- **Fiabilité implicite**: basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.
- **Fiabilité explicite**: dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

### II.3.1.3. Paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité

#### II.3.1.3.1. Variable aléatoire:

On appelle variable aléatoire (x) celle à laquelle nous pouvons associer une probabilité pour chaque valeur de (x)

- variable aléatoire continue: intervalle de temps entre défaillance consécutive d'un matériel.
- variable discrète : nombre de défaillance d'un matériel sur une période donnée ou pour une quantité fabriquée.

#### II.3.1.3.2. Densité de probabilité:

Généralement en fiabilité elle est notée f(t) et représente la probabilité de défaillance en un intervalle de temps (t).

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}} \quad (\text{II— 1})$$

II.3.1.3.3. **La fonction de répartition:** f(t) est la notation générale de la probabilité de défaillance dans l'intervalle de temps [0, T].

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (\text{II— 2})$$

#### II.3.1.3.4. La fonction de fiabilité:

Nous appelons R (t) la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t), ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t).

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t), qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance »

#### II.3.1.3.5. Taux de défaillance:

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée t et encore survivante. La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge t qu'elle a déjà et l'âge T + dt est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre T et T + dt, sachant qu'elle a survécu jusqu'à T. D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette

Probabilité est égale à :

$$\lambda(t) \cdot d(t) = \frac{F(t+dt)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1-F(t)} = \lambda(t) = \beta \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II— 3})$$

Avec  $\lambda(t)$  taux de défaillance de la pièce d'âge t. [13]

On a donc :  $\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)}$  (II— 4)

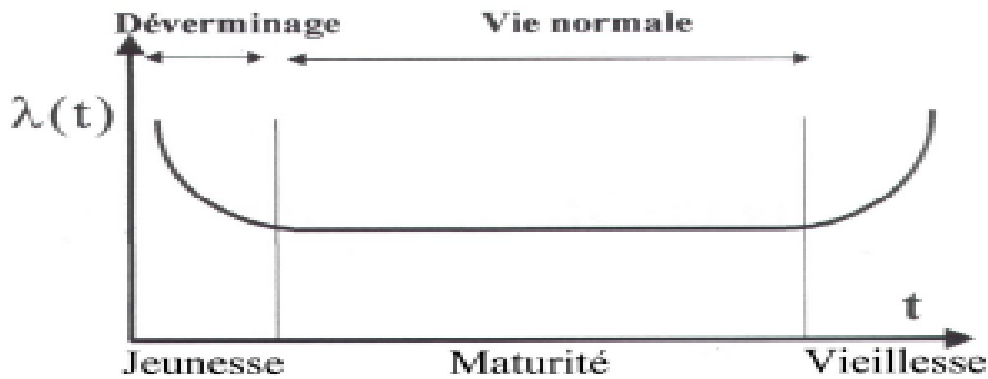


Figure II:9Taux de défaillance, Courbe en baignoire

La vie d'un composant peut donc être divisée en trois périodes : - période de jeunesse, défaillances précoces - période de vie utile, taux de défaillance sensiblement constant - période de vieillesse, défaillances d'usure.

- **Lors de la période de jeunesse**, le taux de défaillance diminue : la probabilité de panne d'un composant décroît avec le temps, les défaillances sont dues à des problèmes de qualité (mise en place des procédés et déverminage).
- **La période de vie utile** est représentée par un taux de défaillance constant : la probabilité d'une panne est indépendante du nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement (pannes aléatoires). Cette période, souvent inexistante pour la mécanique, est celle de référence pour l'électronique.

**Lors de la période de vieillesse**, la probabilité de panne augmente avec le nombre d'heures de fonctionnement : plus l'équipement est vieux, plus il est probable d'avoir une défaillance. Ce type de comportement est caractéristique des systèmes soumis à usure ou autres détériorations progressives qui correspondent à des taux de défaillance croissants. La fiabilité se limite généralement à l'étude des phases 2 et 3, on exclut les problèmes de qualité en ne tenant pas compte du déverminage qui a lieu lors de la première phase. [12]

#### II.3.1.3.6. La MTBF :

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est :

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Nombre de bon fonction}}{\text{Nombre de interval de temps bon fonction}} \quad (\text{II— 5})$$

$$MTBF = \int_0^t R(t) dt \quad (\text{II— 6}) [17]$$

#### II.3.1.4. Loi de Weibull:

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique.

Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- le paramètre de position  $\gamma$  qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé) ;
- le paramètre d'échelle  $\eta$  qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution ;
- le paramètre de forme  $\beta$  qui est associé à la cinétique du processus observé

**Densité de probabilité :** 
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II-7})$$

**Fonction de répartition :** 
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II-8})$$

**Loi de fiabilité:** 
$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II-9})$$

**Taux de défaillance :** 
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II-10})$$

**Remarque si :** 
$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 0 \\ \\ B=1 \end{array} \right. \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{II-11})$$

$$a = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ et de } b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (\text{II-12})$$

**Moyenne des temps de bon fonctionnement: MTBF =  $\gamma + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$**  (II-13)

**En fonction de  $\beta$  ; d'où MTBF =  $\gamma + a \eta$**  (II-14)

Le paramètre de position  $\gamma$  étant souvent nul, on se ramène à :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II-15})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II-16})$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II-17})$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II-18})$$

Donc  $\gamma = 0$  ou, en faisant le changement de variable,  $t_1 = t - \gamma$ , on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres, définie pour  $t$  (ou  $t_1$ ) positif ou nul, dont les caractéristiques sont illustrées sur la (Figure II-3)

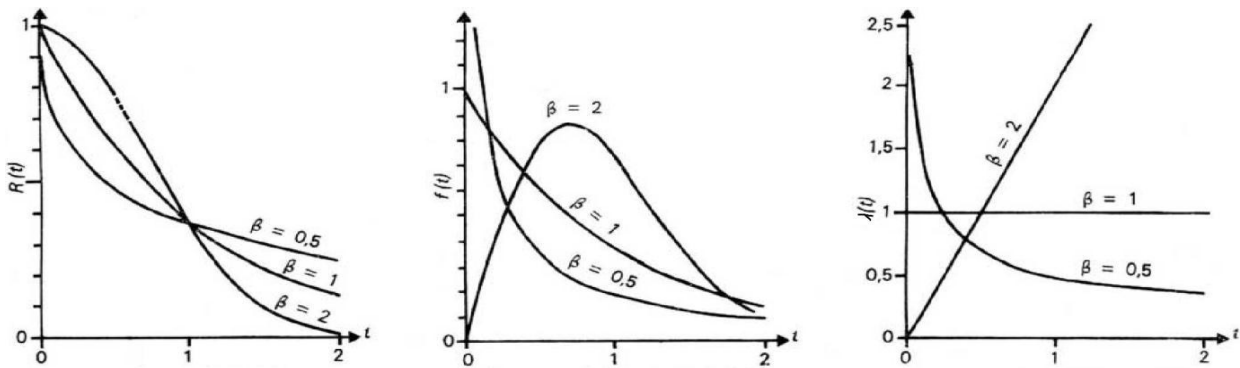


Figure II:10: Principales propriétés de la distribution de Weibull

### II.3.1.4.1. Application à la fiabilité

Suivant les valeurs de  $\beta$ , le taux de défaillance est

Soit décroissant ( $\beta < 1$ ),

Soit constant ( $\beta = 1$ ),

Soit croissant ( $\beta > 1$ ).

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire).

Le cas  $\gamma > 0$  correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est infime jusqu'à un certain âge  $\gamma$ .

### II.3.1.4.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull

Un des problèmes essentiel est l'estimation des paramètres  $(\beta, \eta, \gamma)$  de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante :

• **Graphique à échelle fonctionnelle** Si pour la distribution de Weibull à 2 paramètres, on fait la transformation :

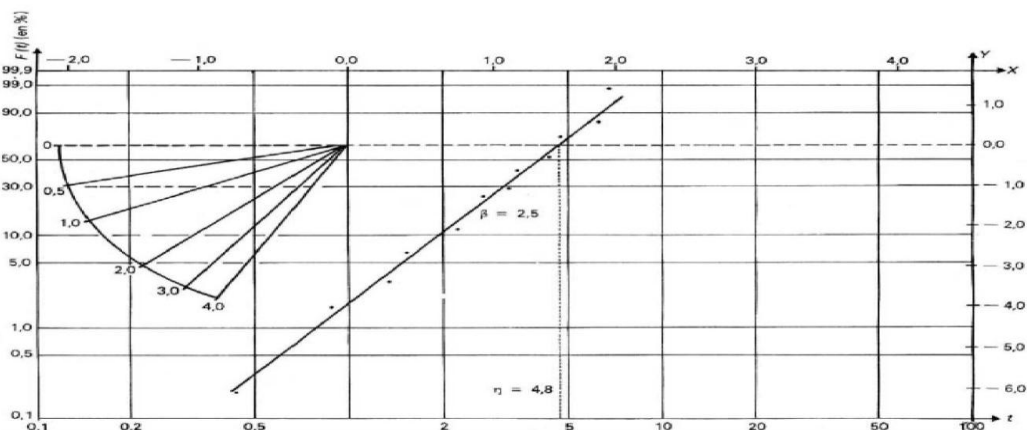


Figure II:11 Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull

- A : Axe de t
  - B : axe de  $F(t)$  (en %)
  - a :  $\ln(t)$
- (Sur Figure III-4)

- $b : \text{Ln} (\text{Ln} (1/ [1-F(t)]))$
- $X$  et  $Y$  : permettent de déterminer  $\beta$  ( $Y = \beta X$ )

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance  $F(i)$ , approximation de  $F(t)$ .

### II.3.1.4.3. Préparation des données :

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
- 3)  $N$  = nombre de Temps de bon fonctionnement
- 4) Recherche des données  $F(i)$ ,  $F(i)$  représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l' $i$ ème défaillant.

On a 3 cas différents :

- 1- Si  $N > 50$ , regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \sum \frac{Ri}{N} \simeq F(t) \quad (\text{II— 19})$$

- 2- Si  $20 < N < 50$ , On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens):

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \simeq F(t) \quad (\text{II— 20})$$

- 2- Si  $N < 20$ , On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{Ni - 0.3}{N + 0.4} \simeq F(t) \quad (\text{II— 21})$$

Et on fait le Tracé du nuage des points  $M (F(i), t)$  :

#### ➤ Recherche de $\gamma$ :

Si le nuage de points correspond à une droite, alors  $\gamma = 0$ . ( $\gamma = 0$ )

Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur ( $\gamma$ ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante.

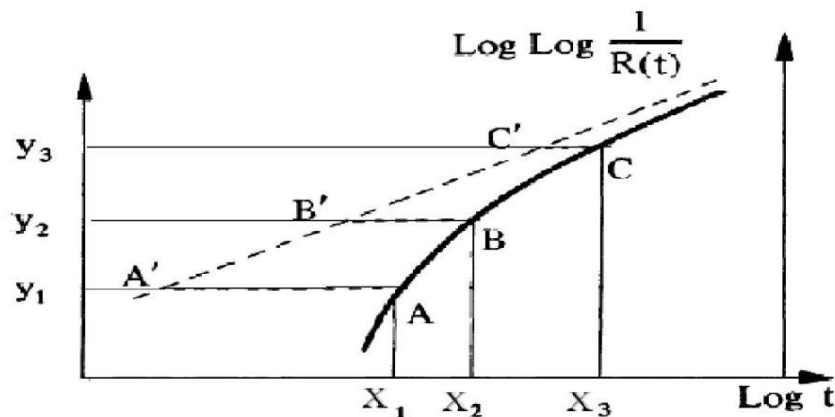


Figure II:12 Redressement de la courbe par translation

Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$\gamma = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (\text{II— 22})$$

Considérons les points :  $A(X_1, Y_1)$  ;  $B(X_2, Y_2)$  ;  $C(X_3, Y_3)$

$$\begin{cases} Y_a > Y_2 > Y_1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_a \end{cases}$$

En arrangeant on obtient

$$\gamma = \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)} \quad (\text{II} - 23)$$

➤ **Recherche de  $\eta$ :**

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse  $t = \eta$ .

➤ **Recherche de  $\beta$ :**

- béta est la pente de la droite de corrélation
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par  $\eta = 1$  On lit Ensuite béta sur l'axe B. [15]

**II.3.1.5. Fiabilité d'un système**

La détermination de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite tout d'abord de connaître la loi de la fiabilité (ou la loi de défaillance) de chacun des composants intervenant dans le système.

Ceci est simple pour certains types de systèmes tels que les systèmes électroniques, or ce n'est pas le cas pour des systèmes mécaniques à cause de la complexité de la structure du système étudié. Les systèmes mécaniques sont des ensembles d'éléments technologiques liés par des relations statiques et dynamiques assez complexes.

Pour un système électronique chaque composant à un poids important dans la fiabilité du système, la fiabilité du système est donc calculé en fonction de la fiabilité de tous ses composants. Les calculs sont effectués sous l'hypothèse que les taux de défaillance sont constants dans le temps, une hypothèse acceptable pour la plupart des composants, ce qui rend les calculs beaucoup plus simples. La détermination des taux de défaillance des composants est effectuée soit à partir des modèles développés dans des bases de données disponibles, soit à partir d'essais effectués sur les composants ou bien à partir des résultats d'exploitation des produits.

La fiabilité d'un système mécanique, contrairement à l'électronique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants "responsables" ou "critiques" (parfois un seul).

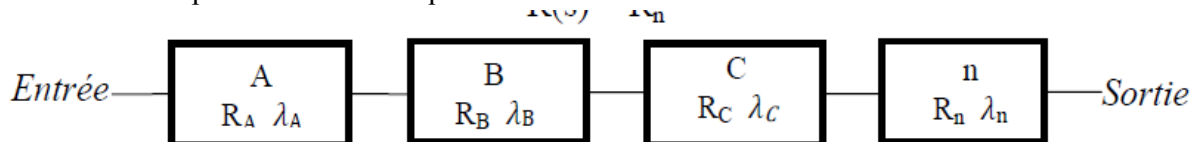
**II.3.1.5.1. Fiabilité de système constitué de plusieurs composants**

➤ **En série**

La fiabilité  $R_s$  d'un ensemble de  $n$  constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives  $R_A, R_B, R_C, R_n$  de chaque composant.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n$$

Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité **R** la formule sera la suivante :



**Figure II:13** Composants en série.

**Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule:**

$$R(t) = (e^{-\int_0^t \lambda(t) dt})(e^{-\int_0^t \lambda(t) dt})(e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}) \quad (\text{II— 24})$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n} \quad (\text{II— 25})$$

Si en plus, les composants sont identiques :  $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \dots = \lambda_n$

$$R(t) = (e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}) \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{1}{n * MTBF} \quad (\text{II— 26})$$

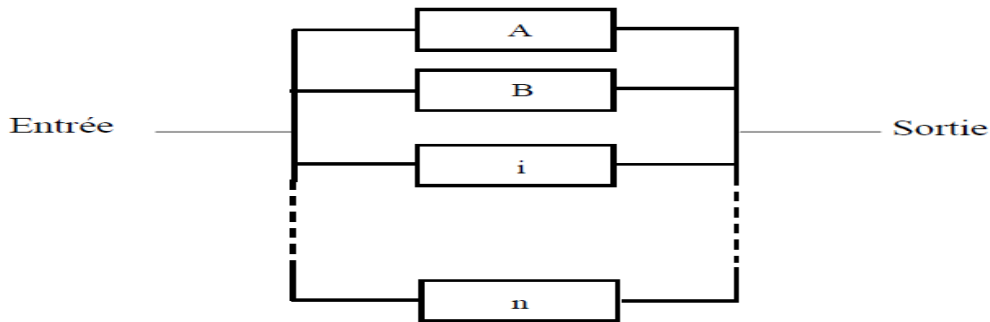
➤ **En parallèle**

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de **n** composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les **n** composants tombent en panne au même moment.

Si **Fi** est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée **Ri** est son complémentaire:

$$F_i = 1 - R_i \quad (\text{II—2})$$

**Fi** représentant la fiabilité associée.



**Figure II:14** Composants en parallèle.

Soit les “n” composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée **Fi** alors:

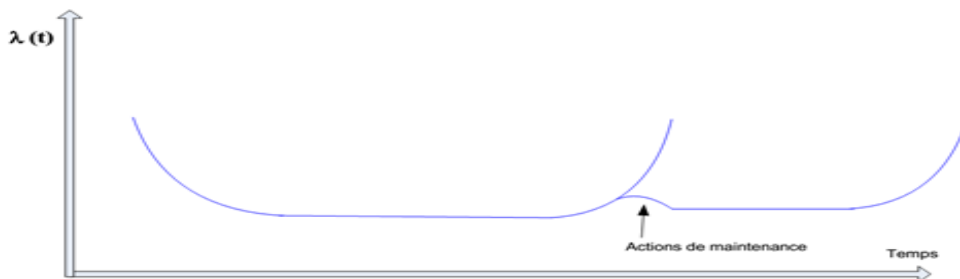
$$R(s) = 1 - (1 - R)^n$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si  $\lambda$  est constant  $R_s$  est obtenu par :

$$R(s) = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)$$

**II.3.1.6. Rôle de La maintenance préventive constituée**

On examine les effets de la maintenance préventive sur la fiabilité d'un système ou un composant.



**Figure II:15** Effet de la maintenance sur la fiabilité

La prolongation de la durée de vie d'un matériel ne peut se faire que par des actions de maintenance. Figure II:16 schématise ces actions.

La maintenance peut:

1. diminuer la fiabilité (erreurs humaines dues à l'intervention) 2. n'avoir aucun effet (aucun mécanisme de vieillissement, aucun phénomène d'usure) 3. Améliorer la fiabilité (présence de mécanisme de vieillissement, de phénomène d'usure). [17]

### II.3.1.7. La maintenabilité:

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (\text{II— 28})$$

#### II.3.1.7.1. Taux de réparation $\mu$ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{II— 29})$$

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai  $t$  avant que le composant puisse être réparé. Ce délai  $t$  comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (Figure II-17) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en  $t=0$ .

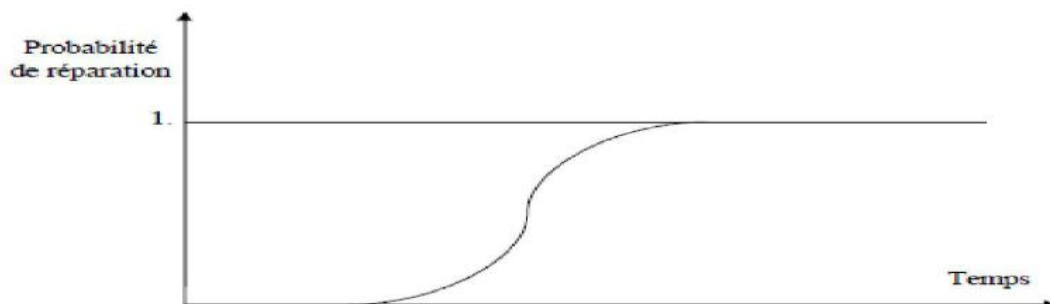


Figure II:17 probabilités de réparation au cours de temps

#### II.3.1.7.2. Amélioration de la maintenabilité

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développement des documents d'aide à l'intervention,
- L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- L'interchangeabilité et la standardisation.
- La facilité de remplacement.
- L'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

Le maintenicien doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes:

1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.

2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic

3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne

4- disponibilité des accessoires outillages

### II.3.1.8. La disponibilité:

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ».

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production,
- Être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

#### II.3.1.8.1. Les types de disponibilité :

- **Disponibilité intrinsèque:** cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II} - 30)$$

- **Disponibilité instantanée**

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance  $\lambda$  constante et d'un taux de réparation  $\mu$  [16] constant, la disponibilité instantanée est:

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II} - 31)$$

#### II.3.1.8.2. Amélioration de la disponibilité:

En améliorant la disponibilité, on améliore l'efficacité, donc la productivité et les résultats. Cela dit, il existe plusieurs manières d'agir sur la disponibilité. La première, c'est d'agir sur la disponibilité "constructeur", en prenant des matériels plus fiables, plus maintenables, et forcément plus onéreux. La seconde consiste à agir sur la disponibilité "opérationnelle". Celle-ci est directement liée à la politique de maintenance de l'utilisateur, de l'organisation et des moyens mis en œuvre. Par exemple, un ensemble de machines enchaînées disponibles peut s'avérer globalement indisponible si aucune coordination des interventions de réglage et de maintenance n'est effectuée. En investissant dans la maintenance, il est clair que l'industriel va améliorer la disponibilité "opérationnelle". Entre disponibilité "constructeur" et disponibilité "opérationnelle", l'industriel doit choisir quel est l'investissement le plus rentable. La question qui se pose est du style : « *Faut-il augmenter le temps d'utilisation pour augmenter l'efficacité globale ?* ». Le coût global optimum à rechercher impose de prendre en compte de très nombreux paramètres : le coût d'acquisition et d'installation, les coûts d'exploitation et de maintenance et bien sûr les pertes dues à l'indisponibilité des équipements. [12]

## II.3.2. La courbe ABC

### II.3.2.1. Objectif

Le but est d'analyser un phénomène, en le représentant par un graphique qui permet de déterminer l'existence d'une relation entre deux groupes de données. La courbe ABC permette de classer les événements selon l'enjeu qu'elles représentent. Elle permette de visualiser rapidement les priorités d'action, de faire un choix et de se concentrer sur les problèmes à traiter en priorité. C'est un moyen simple de classer les phénomènes par ordre d'importance.

### II.3.2.2. Graphique sous forme d'histogramme

Les données chiffrées sont plus faciles à comprendre quand elles sont représentées sous forme de graphique que sous forme d'une suite de chiffres. Le graphique (synthèse visuelle) est un outil de choix pour l'établissement de tableaux de bord, d'illustrations de rapports, d'outils de contrôle et de prise de décision. L'histogramme est souvent utilisé car son format standardisé le rend compréhensible par tous.

### II.3.2.3. Intérêt

L'intérêt de la courbe ABC est de montrer, dans un premier temps, qu'il est plus payant de s'attaquer à la résolution des causes principales de défauts que de perdre un temps précieux à traiter des causes qui n'apparaissent que rarement. Il permet ainsi de distinguer facilement l'essentiel du secondaire. Dans un environnement industriel, tout et n'importe quoi pourrait être amélioré indéfiniment. Mais l'amélioration a un coût. Elle doit donc avoir une contrepartie : apporter une valeur ajoutée ou au minimum supprimer des pertes. Le diagramme de Pareto permet donc de justifier une action d'amélioration de la qualité.

### II.3.2.4. Méthodologie

Elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique.

Puis à établir un graphe faisant correspondre le pourcentage de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique

Zone "A"

Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 20% des pannes représente 80% des coûts, ceci constitue la zone A, zone des priorités.

Zone "B"

Dans cette tranche, les 30% des pannes suivantes ne coûtent 15% supplémentaire.

Zone "C"

Dans cette zone les 50% des pannes restantes ne représentent qu'à 5% de coûts. [21]

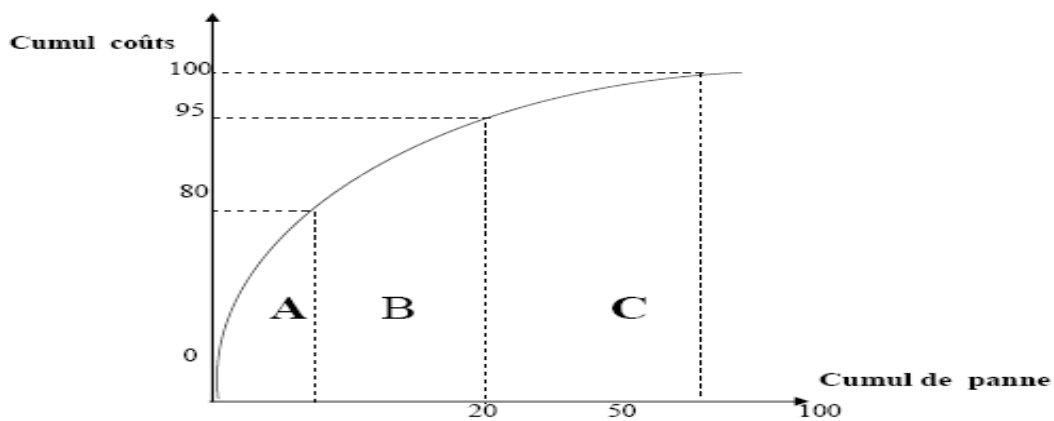
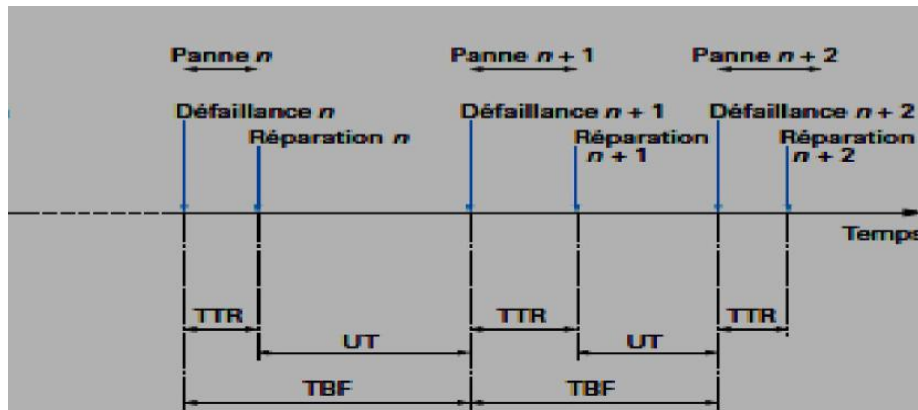


Figure II:18: La Courbe ABC

### II.3.3. La relation entre MUT, MTBF, et MTTR

La figure suivante illustre la relation entre MUT, MTBF et MTTR :



**Figure II:19** La relation entre MUT, MTBF, et MTTR

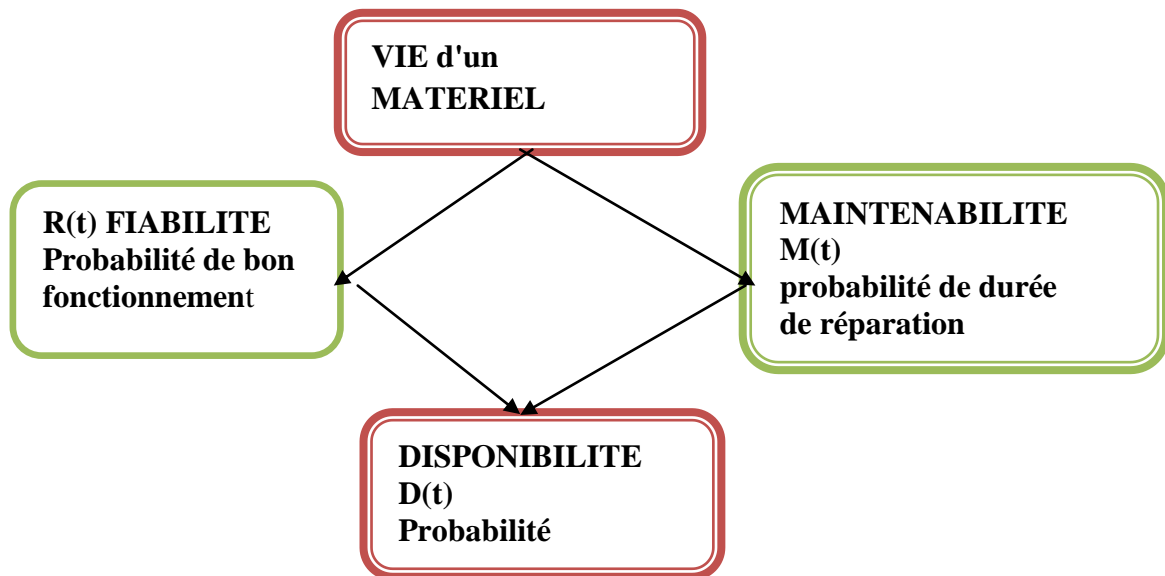
$$MTBF = MUT + MTTR$$

En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR et MUT, avec le risque de mal se comprendre évoqué au début du paragraphe ; on peut proposer les expressions Françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

- TTR** temps de réparation,
- TBF** temps de bon fonctionnement,
- UT** temps entre défaillances

### II.3.4. La relation entre les notions FMD

La figure suivante montre la relation entre les paramètres de la sûreté de fonctionnement :



**Figure II:20** Relation entre les paramètres FMD

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable. [20]

## **II.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons expliqué les différents outils de maintenance préventive conditionnelle tels que l'analyse de vibration, l'analyse des huiles, l'analyse de bruit et la thermographie d'une part et la sûreté de fonctionnement et leurs paramètres d'une autre part.

La sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique en tenant compte de l'aspect sécurité et les critères visant à éviter un entretien fréquent, difficile et coûteux se résument en trois points connus sous la notion F.M.D. (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) que le concepteur d'équipement devrait tenir compte lors des études d'engineering.

## Chapitre III

### III. Présentation de l'entreprise (station production électrique SONELGAZ).

#### III.1. Introduction

L'essentiel de la consommation d'énergie électrique ainsi que les plus grands centres de production électrique de type thermique vapeur se concentrent dans la partie nord du pays, où est localisée la majeure partie de la population et de l'activité économique. L'alimentation par des turbines à gaz concerne quant à elle les régions de l'intérieur et les grands sites pétroliers et gaziers du sud. Néanmoins, pour une meilleure sécurité d'exploitation, ces réseaux sont interconnectés depuis 1988 au réseau de transport électrique national.

Même si la législation a été modifiée (loi de février 2002), Sonelgaz, l'opérateur électrique national, dispose encore de fait d'un monopole total pour la transmission et la distribution d'électricité.

#### ➤ **SONELGAZ, un opérateur historique:**

A sa création, en 1969, SONELGAZ, la Société Nationale de l'électricité et du Gaz, dans le cadre de la mission que lui ont confié les pouvoirs publics, dispose du monopole de la production, du transport, de la distribution, de l'énergie électrique sur le territoire algérien. En 1991, il obtient le statut d'Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC), et devient une société par actions, dans un contexte d'ouverture totale du secteur à la concurrence.

#### ➤ **Parc de production:**

Le parc de production algérien totalise une puissance installée de 8406 MW

(1181) MW sont générés par les producteurs indépendants) dont 7225 MW

Pour le réseau interconnecté et le reste pour les réseaux isolés du sud. La puissance installée est répartie entre les filières comme suit :

**Filière Turbines Vapeur (43,29%) :** 2740 MW. Elle est composée de 20 Groupes de puissance unitaire comprise entre 50 MW et 196 MW

**Filière Turbines à Gaz (49,55%) :** 3152 MW. Elle est constituée de 84 Groupes dont la puissance unitaire varie de 20 MW à 210 MW

**Filière Hydraulique (3,39%) :** 278 MW. Elle est constituée de 34 groupes dont la puissance unitaire varie de 1 MW à 5 MW pour les basses chutes et de

12 MW à 50 MW pour les hautes chutes.

**Filière Diesel (2,77%) :** 175 MW. Elle est composée de 183 groupes de puissance unitaire de 0,35 MW à 8 MW. Les groupes de cette filière sont installés au Sud et alimentent des réseaux isolés.

- **Les centrales à Gaz** le principe est basé sur la production des gaz chauds à l'entrée de la turbine, ces gaz chauds proviennent de la combustion du mélange air-gaz dans les chambres

de combustion, l'air provient du refoulement du compresseur axial et du gaz détendu du poste de détente.

Ces centrales possèdent un rendement (2,92 à 3,5 Th/KWh), Néanmoins le temps de démarrage reste idéal de 12 à 30 mn est son les plus utilisées.

### **III.2. Description de la Centrale M'sila**

La centrale de production d'électricité de M'sila est située à 8 Km environ à l'ouest de la ville de M'sila et installée sur une superficie de 63 hectares.

La centrale est composée de :

- M'sila 1 comportant 22 groupes de type 5001P de puissance 23 MW chacun mis en service en 1981 par THOMASSEN(HOLANDE) dont 20 Groupes ont été transférés (08 vers Nâama 08 vers Oran et 04 vers In-Salah) il en reste que 02 groupes (M'sila 1).
- M'sila 2 comporte 03 groupes de puissance 100MW chacun de Type 9001<sup>E</sup> mis en service en 1989.
- M'sila 3 composée de 02 groupes géants de puissance 215 MW chacun de type V94.3A constructeur ANSALDO(Italie) mis en service en 2009.
- M'sila 4 ; 04 groupes de 25Mw TG mobiles constructeur GE.

Elle comporte 02 groupes de turbines à gaz de puissance de 23 MW chacun, de 03 groupes de puissance de 100 MW chacun, 02 Groupe de 215 MW chacun et 12 groupes mobiles de 25Mw, ce qui totalise en moyenne une puissance de 1076 MW.

La centrale est partagée ainsi en quatre parties :

- Les 02 groupes de la centrale de M'sila1 peuvent fonctionner soit au gaz soit au fuel. leur commande est de type Mark 6 GE
- Un groupement de 03 turboalternateurs de type 9001E appelé M'sila II, fonctionnant seulement au gaz. leur commande est de Mark6 GE
- 02 Turbines à gaz « ANSALDO – (une société Italienne) model V94.3A.4 » et leurs Auxiliaires. leur commande est DCS (symphonie harmonie ABB) fonctionnant au gaz et au fuel.
- 12 Turbines à mobiles générale électrique de 25 MW fonctionnant au gaz et au fuel

L'alimentation en gaz des groupes 5001P est assurée par un poste gaz, le gaz provient de Hassi-R'mel à une pression de 60 BARS, 03 rampes en cascade servent à détendre le gaz à une pression de 20 BARS pour ainsi être envoyé vers les groupes.

Les groupes5001P peuvent aussi fonctionner au fuel comme combustible de secours .Le Fuel est stocké dans deux(02) tanks de 10000 m<sup>3</sup> chacun.

Les groupes turboalternateurs modèle 9001E fonctionnent seulement au gaz provenant d'un poste gaz qui détend le gaz de Hassi-R'mel à une pression de 21 Bars. Pour les groupes Ansaldo (215Mw) Un autre poste gaz sert à détendre le gaz de Hassi-R'mel qui est détendu à une pression de 30 bars l'alimentation en fuel provient des tanks fuel aspiré et refoulé par des pompes

Centrale	Puissance Unitaire (MW)	Nombre de groupe	Puissance Centrale(MW)
Centrale M'sila 1	23	02	46
Centrale M'sila 2	103	03	309
Centrale M'sila 3	215	02	430
Centrale M'sila 4	25	12	300
<b>Total puissance de la centrale</b>			<b>1085</b>

Tableau III.1 Tableau caractéristique de l'Unité de M'sila

	Poste gaz		Turbine		Alternateur		Transformateur	
	Entrée	Sortie	entrée	sortie	Entrée	sortie	entrée	sortie
centrale M'sila 01	60 bars	20 bars	20 bars gaz 01 bars d'air	5200 Tr/min	3000 Tr/min	11 kV	11 kV	220 kV
centrale M'sila 02	60 bars	20 bars	20 bars gaz 01 bars d'air	3000 Tr/min	3000 Tr/min	11.5 kV	11.5 kV	220 kV
centrale M'sila 03	60 bars	30 bars	30 bars gaz 01 bars d'air	3000 Tr/min	3000 Tr/min	19 kV	19 kV	220 kV
centrale M'sila 04	60 bars	30 bars	30 bars gaz 01 bars d'air	12000 Tr/min	3000 Tr/min	11 kV	11 kV	220 kV

Tableau III.2 caractéristiques des groupes



**Figure III:1 Etablissement de central électrique**

### **III.2.1. DESCRIPTION DES SYSTEMES ET DES EQUIPEMENTS**

Notre centrale thermique (groupe turboalternateur) est composée de quatre parties essentielles :

-La poste gaz-La turbine a gaz- L'alternateur-Le transformateur de puissance TP

#### **III.2.1.1. Poste gaz:**



**Figure III:2 Photo Poste de gaz dans central électrique M'Sila**

Le combustible principal alimentant la centrale est le gaz naturel qui est délivré au moyen d'un gazoduc depuis HASSI-R'MEL à une pression de 60 bars, celui-ci est détendu à une pression de 20bars pour ainsi être envoyé vers Les chambres de combustion.

Le combustible alimentant la centrale est le gaz naturel qui est délivré au moyen d'un gazoduc.

Le système combustible gaz porte sur une station de détente avec un circuit gaz adéquat et fiable pour répondre aux exigences de fonctionnement des turbines à gaz pour tous les régimes de fonctionnement la composition du poste gaz :

- un joint isolant (diélectrique) en amont du PDG
- une vanne d'isolement automatique de type à bille avec by-pass
- un séparateur de liquides au 100% de la capacité totale avec by-pass, destiné à débarrasser le gaz des liquides en suspension qu'il est susceptible d'entraîner (eau, huiles légères ou lourdes, .....etc.)
- deux filtres, chacun au 100% de la capacité totale, destinés à débarrasser le gaz des particules solides en suspension qu'il est susceptible d'entraîner
- un poste de comptage, au 100% de la capacité totale avec by-pass, avec correction en température et en pression permettent la mesure du débit
- deux réchauffeurs à gaz type "Bain-marie" identiques installées en parallèle est capable d'assurer chacun le 100% du débit nécessaire au fonctionnement de deux turbines à gaz
- un poste de détente primaire. Il est prévu que chaque turbine à gaz a sa propre ligne de détente, on va prévoir comme réserve une ligne de secours automatique et une ligne supplémentaire de secours manuel. Chacune d'entre les quatre lignes identiques installées en parallèle est capable d'assurer 100% du débit nécessaire au fonctionnement d'une turbine à gaz.

Chaque ligne, comportant les détendeurs nécessaires au fonctionnement à tous débits, comprendra:

- vannes d'isolement manuel de type à bille (deux pour chaque ligne, à l'entrée et à la sortie)
  - un clapet à bille d'arrêt (pour chaque ligne de détente)
  - soupapes protégeant les tronçons à différentes pressions contre les surpressions accidentelles
- équipement de contrôle et mesure nécessaire à l'exploitation
  - système d'arrêt et de dépressurisation
  - évent
  - un système d'azote de purge pour l'évacuation du gaz naturel et de l'air contenu dans les différent tronçon du système avant de activité de manutention ou de réparation.

En aval des lignes de détente il y aura un départ indépendant pour chaque turbine à gaz qui arrive au skid final d'unité qui va comprendre :

- un poste de comptage qui permet la mesure du débit consommé
- deux filtres séparateurs pour garantir le niveau de protection aux impuretés liquides et solides, demandé et imposé pour le fonctionnement des TG
- une vanne d'isolement automatique de type à bille de sécurité et une vanne automatique de type à bille de décharge

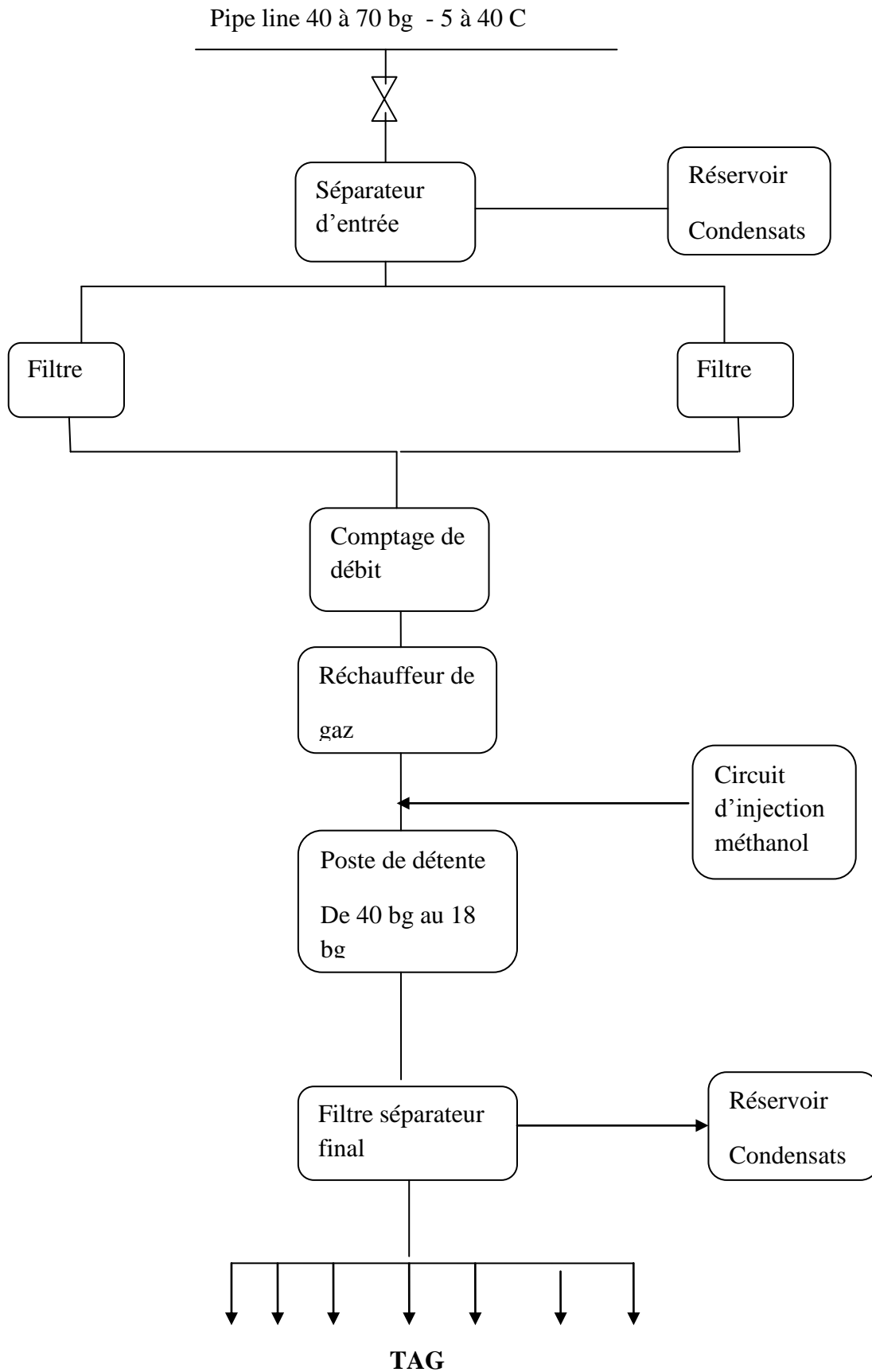


Figure III:3 Le schéma de système alimentation de gaz

### III.2.1.2. Turbine à gaz

Les turbines à gaz au niveau du champ de M'sila sont de modèle MS 9001, elles sont utilisées pour entraîner des compresseurs centrifuges multi étages.

La turbine à gaz MS 5001p est une machine rotative à combustion interne, elle pressurise de l'air, le mélange avec un combustible et brûle ainsi le mélange dans des chambres de combustion. Les gaz ainsi produits sont détendus au niveau des aubes d'une turbine de détente.

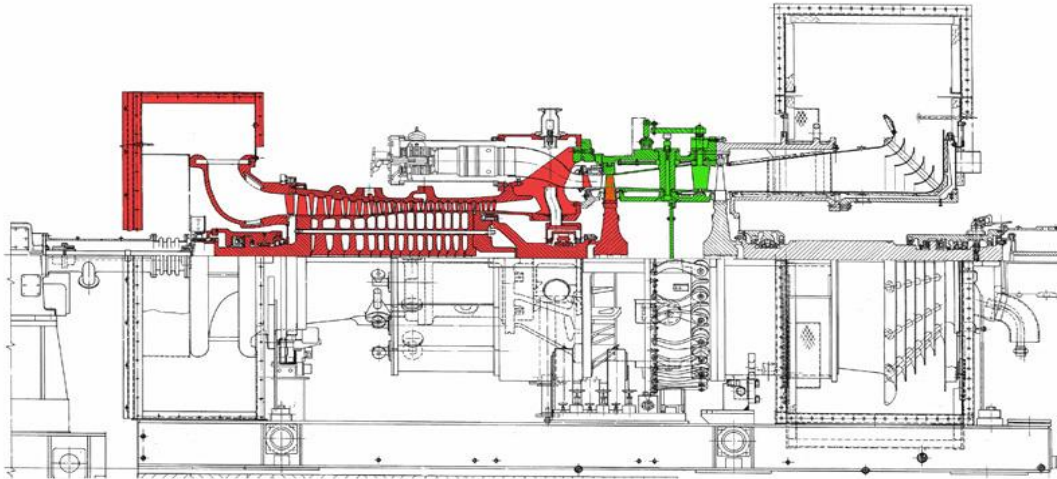


Figure III : Présentation de la turbine MS 5001p

#### III.2.1.2.1. Principe de fonctionnement

Grâce à un système de lancement par moteur électrique, le rotor de la turbine HP est lancé à 20 % de sa vitesse nominale.

Le compresseur axial aspire l'air de l'atmosphère et le refoule dans les chambres de combustion, où un apport de combustible permettra de produire un fluide moteur ou gaz chaud à pression constante.

Les gaz chauds ainsi produits viennent se détendre sur la roue haute pression, puis dans la roue basse pression pour s'échapper ensuite dans l'atmosphère.

Donc, on produit un travail utile pour entraîner le compresseur centrifuge BCL 606-3/A, à partir du rotor de la roue BP.

#### III.2.1.2.2. SECTIONS PRINCIPALES DE LA TURBINE

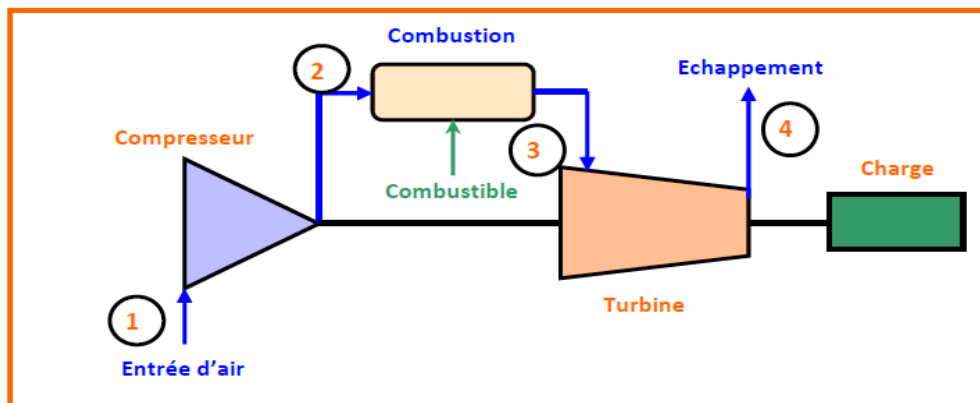


Figure III:4 Schéma d'une turbine à gaz à une ligne d'arbre.

#### ➤ Section compresseur

La section du compresseur axial comprend le corps (stator) et le rotor.

Le rotor comporte 16 étages de compression, les aubes de la directrice et 2 déflecteurs de sortie.

Les aubes du rotor acheminent l'air en lui donnant la force nécessaire à la compression. Ils sont insérés dans des rainures et maintenus dans une position axiale par l'empilage et le bouclage au bout des rainures.

Les aubes du stator guident cet air pour le faire pénétrer dans les étages successifs du rotor.

Les disques et le demi-arbre sont assemblés pour assurer la conicité, et maintenus par des tirants.

La partie stator est composée de quatre éléments principaux suivants :

- **Corps coté aspiration**

Se trouve à la partie avant, sa fonction est de diriger l'air de façon uniforme vers le compresseur, il porte le premier palier du stator.

- **Corps partie avant**

Contient les quatre premiers étages du stator, il transmet également les charges de structure qui viennent du corps adjacent vers le support avant.

- **Corps partie arrière**

Contient les derniers étages du stator, les orifices d'extraction prévus dans ce corps permettent de prélever l'air au niveau du dixième étage du compresseur.

Cet air est employé pour refroidir, assurer les fonctions d'étanchéité et contrôler les pulsations au démarrage et à l'arrêt

- **Corps coté refoulement**

C'est l'élément final et la pièce coulée la plus longue, situé à mi-chemin entre les supports avant et arrière. Ce corps porte le deuxième palier de la turbine.

Sa fonction est de contenir les sept derniers étages de compression et forme avec la paroi intérieure et extérieure le diffuseur du compresseur.



**Figure III:5 Rotor du Compresseur de la turbine à gaz MS 5001**

➤ **Section combustion**

La section combustion de la turbine à gaz MS5001p comporte l'enveloppe de combustion qui est composée de 12 corps de combustion extérieure, de 12 ensemble chapeau chemise, de 12 pièces de transition, de 12 injecteurs de combustible, de 2 bougies d'allumage, de 4 détecteurs de flamme et de 12 tubes à foyer et, divers garnitures.

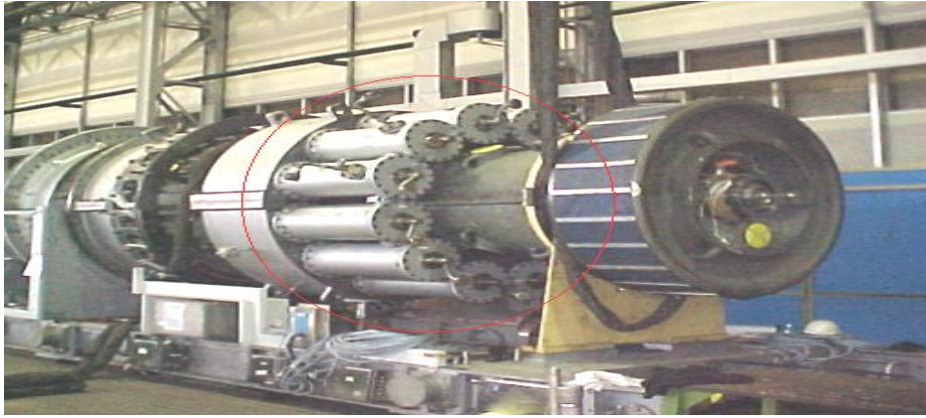


Figure III:6 Chambre de combustion de la turbine à gaz MS 5001p.

- **Enveloppe de combustion**

Soutient les 12 corps de combustion qui renferment les 12 pièces de transition.

C'est une enceinte soudée, montée dans la partie arrière du refoulement du compresseur, elle reçoit l'air de refoulement à flux axial.

- **Corps de combustion**

Les brides arrière des 12 corps de combustion sont montées sur la surface verticale avant de l'enveloppe de combustion avec chaque corps par les tubes de foyer.

Les ensembles chapeaux et chemises se trouvent à l'extérieur de chaque corps.

Les injecteurs de combustible sont montés dans les couvercles du corps de combustion, ils pénètrent dans les chambres et assurent l'alimentation en combustible.

Le rôle de la chambre de combustion c'est de fournir la quantité de chaleur nécessaire pour le cycle de la turbine à gaz.

La forme de la chambre de combustion est étudiée pour remplir les conditions suivantes :

- Durée de vie la plus longue possible.
- Encombrement minimal.
- Garantir un bon allumage et une stabilité de la flamme.
- Assurer une combustion plus complète que possible.
- Réduire les pertes de charges.

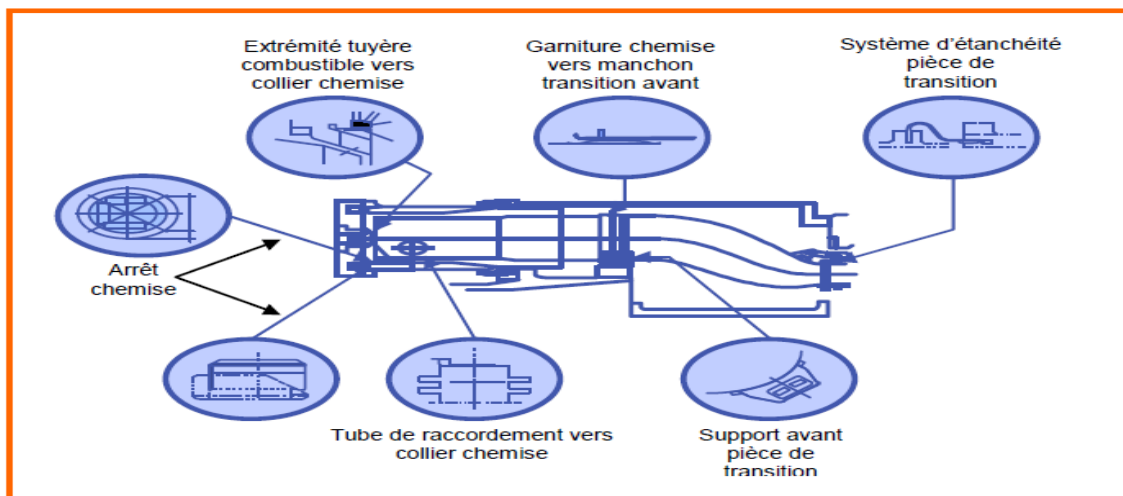


Figure III:7 Schémas d'une chambre de combustion.

- **Bougie d'allumage**

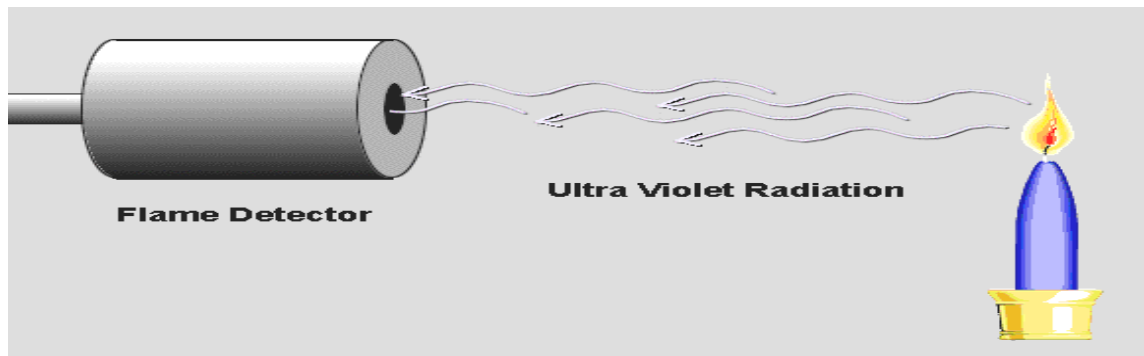
Le déclenchement de la combustion du mélange combustible est assuré par des bougies d'allumage avec électrode.

Deux bougies sont installées dans chacune des deux chambres de combustion 9 et 10, et reçoivent l'énergie

- **Détecteur de flamme ultraviolette**

Pendant la séquence de lancement, on envoie une indication de présence ou d'absence de flamme au système de commande, géré par le système de contrôle de flamme.

Le capteur de flamme est sensible à la présence des radiations ultraviolettes émises par la flamme aux hydrocarbures.



**Figure III:8**Détecteur de flamme ultraviolette.

➤ **Section turbine**

Elle comprend le corps rotor de la turbine, l'aubage directrice du premier étage, la roue de la turbine premier étage HP, la roue de la turbine du second étage BP, l'ensemble diaphragme, l'ensemble d'étanchéité et la conduite de gaz inter-étages.

Le stator de cette section est en deux parties, séparé par un plan de joint médian horizontal afin de faciliter l'entretien.

- **Directrices premier étage**

Elles sont fixées à proximité de la veine de gaz prévu dans le corps de la turbine.

L'air refoulé par le compresseur à partir des enveloppes de combustion vient dans l'anneau support de retenu des aubes perforées pour s'échapper dans la veine de gaz vers l'échappement.

Ce flux d'air permet le refroidissement des aubes de la directrice.

- **Directrices deuxième étage**

Composées d'aubes orientables, qui forment un angle variable avec la directrice d'écoulement des gaz dans la section annulaire juste avant le deuxième étage de la turbine BP.

Une rotation est donnée grâce à des axes prévus dans le corps de la turbine.

Les leviers clavetés à l'extrémité de ces axes, sont reliés par des biellettes à des points de la couronne de contrôle qui sont actionnés par un piston hydraulique.

- **Roues de turbine**

Il existe deux roues séparées dans cette turbine, la première HP commande le compresseur axial, et la seconde BP entraîne le compresseur centrifuge BCL

Les roues sont indépendantes mécaniquement ce qui leur permet de tourner différemment. [18]

### **III.2.1.2.3. SYSTEMES AUXILIAIRES DE LA TURBINE**

➤ **Système d'admission**

Dirige l'air de combustion dans la section d'admission afin de garantir :

- Degré de filtration pour le fonctionnement correcte du compresseur et de la turbine dans les limites des conditions ambiantes existantes de l'installation.
- Débit d'air régulier vers la section d'admission, et un fonctionnement fluide dynamique régulier de ce dernier.

Le système d'admission comprend le filtre d'admission, la conduite, le silencieux, le coude, le caisson d'admission et les autres accessoires. L'air pénètre dans le filtre, traverse la conduite, le silencieux, le coude et le caisson d'admission et enfin le compresseur.

La configuration du filtre choisi, le degré d'insonorisation obtenu dans le silencieux et la géométrie du coude, sont les facteurs qui influencent sur la résistance rencontrée par l'air qui les traverse.

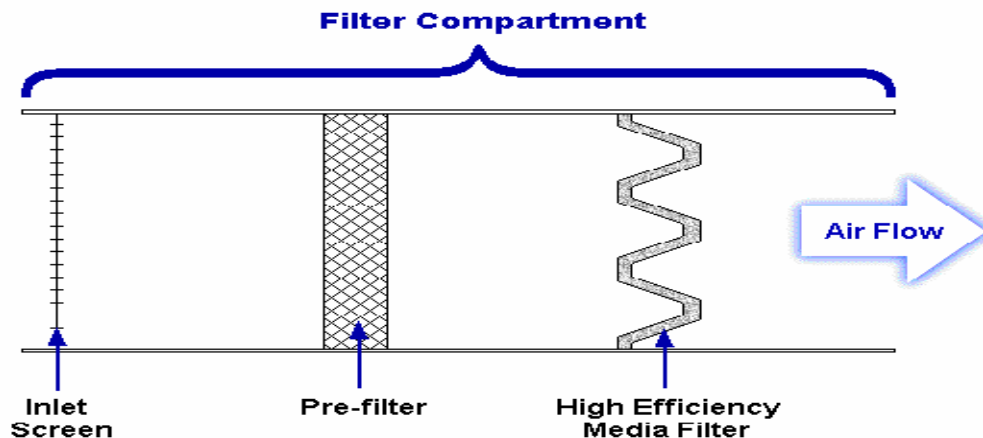


Figure III:9 Système d'admission, filtre à air.

#### ➤ Système de lancement

Le moteur électrique de démarrage fait lancer la machine jusqu' à 22 % de la vitesse nominale pendant une minute, elle se stabilise à 20 % pendant deux minutes.

Le balayage et l'alimentation du circuit de gaz dure 6 minutes, l'arbre BP étant à l'arrêt.

La température Tmax à l'échappement est légèrement augmentée, pendant que les aubes de la directrice présente une ouverture de 15°.

Après que les conditions précédentes soient vérifiées, les bougies d'allumage produisent des étincelles et le signal de démarrage de la turbine est annoncé.

A ce moment-là, l'arbre BP se met en mouvement, les aubes de la directrice se mettent en position d'ouverture maximale, dans l'intervalle de 50 à 60 % de la vitesse nominale.

L'arbre HP se désaccouple du moteur de lancement, donc la turbine à gaz est auto maintenue.

#### ➤ Système d'échappement

Il comporte l'ensemble du cadre et la chambre d'échappement.

Le cadre d'échappement est une structure principale faisant partie de la turbine à gaz

Il sert de support aux paliers 3 et 4, à l'ensemble des tuyauteries, des labyrinthes de paliers et des segments de la roue du deuxième étage de la turbine.

La chambre d'échappement est une structure rectiligne en forme de boîte dans laquelle les gaz d'échappement sont déchargés et diffusés. Elle est située à l'extrémité arrière du socle de la turbine.

A partir de cette chambre, les gaz sont conduits vers l'atmosphère.

#### ➤ Socle support et paliers de la turbine

Le socle supporte la turbine et sert de surface de montage pour l'accès et comme réservoir pour l'huile de graissage.

La turbine soutenue sur le socle par deux plaques de supports souples, l'une se trouve sous la caisse d'admission et l'autre sous la caisse d'échappement.

La turbine à gaz comporte quatre paliers principaux, qui supportent le compresseur et les rotors des deux turbines.

➤ **Système d'embrayage de lancement**

Il comprend l'embrayage à mâchoires, fin de course et deux cylindres.

Les cylindres hydrauliques enclenchent l'embrayage par la vanne d'auto commande séquentielle, et les dispositifs de démarrage fournissent un couple à la turbine.

➤ **Système de combustible gazeux**

Destiné à envoyer le combustible gazeux aux chambres de combustion à pression et débit adéquats pour satisfaire toutes les exigences de lancement de la turbine.

L'ensemble vanne de commande est l'élément principal du système combustible gazeux.

Il y a aussi les servo-vannes, manomètres, la tuyauterie de distribution aux injecteurs de combustible.

➤ **Système d'huile de graissage**

Il comprend un bac d'huile, des pompes, des filtres, des vannes et des dispositifs de contrôle et de protection du système d'huile de graissage.

La turbine à gaz est graissée par un système sous pression en boucle fermée.

L'huile de graissage venant du système, circule jusqu'à atteindre les paliers principaux de la turbine, les accessoires et les équipements entraînés.

Une pompe principale de graissage est montée et entraînée par un réducteur auxiliaire.

Deux autres pompes entraînées par un moteur à courant alternatif, sont utilisées en cas de secours.

➤ **Système d'alimentation hydraulique**

Il comporte deux pompes d'alimentation, une principale et l'autre auxiliaire.

Le fluide nécessaire pour le fonctionnement des composants de commande du système de combustible de la turbine à gaz, est fourni par le système d'alimentation hydraulique. Ce fluide fournit les moyens d'ouverture et de fermeture de la soupape d'arrêt du combustible.

Il gère aussi les aubes directrices variables, les dispositifs de déclenchement hydraulique et de protection de la turbine.

➤ **Système d'air de refroidissement et d'étanchéité**

L'air est utilisé pour refroidir les différentes parties de la section de la turbine, et pour pressuriser les joints d'huile des paliers dans la turbine à gaz.

Les parties principales de la section de la turbine refroidies par l'air sont :

- Roue de la turbine du premier et du deuxième étage.
- Directrice du premier étage.
- Carter du rotor de la turbine.
- Tubes à flamme, les pièces de transition et les paliers.

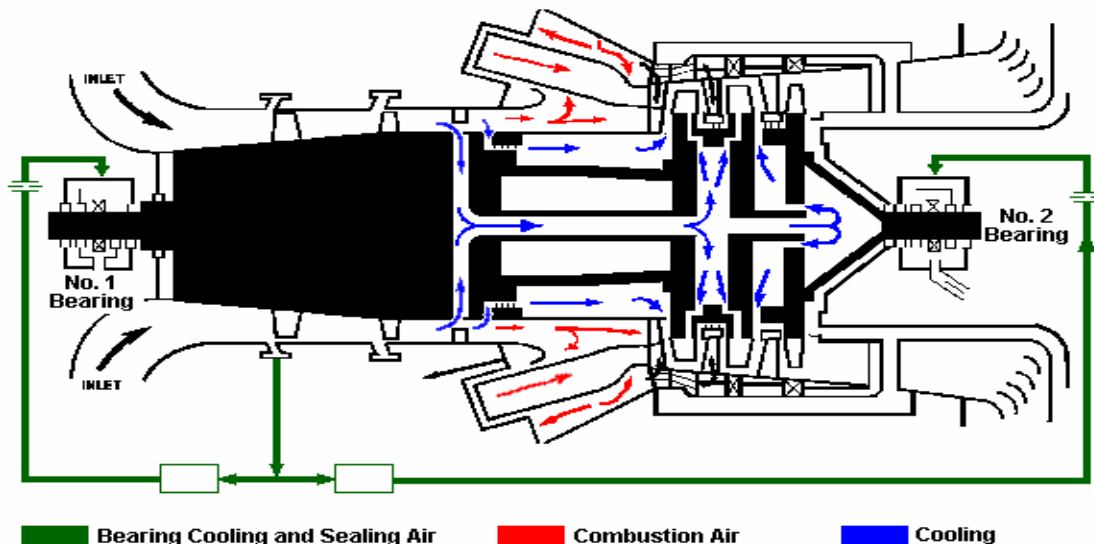


Figure III:10 Circuit d'air de refroidissement et d'étanchéité.

➤ **Système de contrôle, de régulation et de protection**

Il exécute des tâches pour assurer le meilleur fonctionnement de la turbine.

Pour exécuter ces fonctions, le système gère une série de paramètres sous forme de signaux reçus de la turbine, et envoyés par des éléments d'interface, tels le transducteur de pression, le transmetteur de position de la vanne de combustible, les thermocouples, les détecteurs de flamme, ...etc.

Le tableau de commande est divisé en deux parties :

- Système de mise en séquence et de contrôle et Système de protection.[19]

III.2.1.3. **Alternateurs**

III.2.1.3.1. **Caractéristiques**

Alternateur triphasé type DTG 177/200/80, Puissance : 26750 KVA soit 21400 KW à  $\cos\varphi = 0,8$

Tension : 11000 V + 5 %, 50 Hz

Intensité : 1404 A Vitesse : 3000 tr/mn, Excitatrice sans bagues ni balais : type DT GBP 45/20

Tension : 190 V, Intensité : 568 A, Excitation: 80 V, 5 A

III.2.1.3.2. **Description de l'alternateur et de son équipement**

Construction horizontale, auto-ventilée, sans bagues ni balais.

Les enroulements du stator se terminent en 6 transformateurs de courant montés au-dessus de l'alternateur.

Du côté neutre, il y a trois transformateurs de courant de rapport 2000/1/1/1 A chacun avec trois noyaux.

Du côté haute tension, il y a trois transformateurs de courant à trois noyaux chacun de rapport 2000/1/1/1 A.

Neuf éléments de résistances PT 100 sont noyés dans les enroulements du stator.

L'excitatrice est du type sans bagues, ni balais, auto-ventilée et fournit le courant d'excitation de l'alternateur à travers un redresseur tournant monté sur l'arbre.

Une armoire haute tension montée au-dessus de l'alternateur se compose :

- . D'une résistance de mise à la terre du neutre de 2100.A. 3 A pendant 5 secondes
- . D'un transformateur de tension en parallèle de la résistance
- . D'un transformateur de courant compound pour le régulateur du courant d'excitation de rapport 1400/5 A
- . D'un transformateur de tension 11000/380 V pour l'alimentation du régulateur de tension

. De trois transformateurs de tension monophasés à deux enroulements secondaires pour les appareils de mesure et de contrôle 11000/Y-3/100/4-3 V.

#### III.2.1.4. Transformateur principal 53MVA TP 21/22



**Figure III:11** représente transformateur principal 53 MVA TP21/22

La tension aux bornes de l'alternateur étant de 11Kv Pour M'sila 1 et 2 ET DE 19 KV pour M'sila 3 un transformateur élévateur 11et19/220Kv est prévu pour élever la tension et évacuer ceci au réseau du transport de l'électricité et par suite à la distribution de l'électricité.

##### III.2.1.4.1. Caractéristiques

Transformateur triphasé à refroidissement par circulation naturelle d'huile, forcée par l'air (ONAF). Ce transformateur comporte trois enroulements dont un enroulement HT 230 KV à deux enroulements BT 11 KV. La puissance du transformateur est de 53 MVA et le couplage Y'N d11 - d11. Un commutateur de réglage hors tension permet de régler la tension du transformateur. Ce commutateur a cinq positions permet un réglage de la tension HT 230 KV,  $\pm 2,5\%$ ,  $\pm 5\%$ .

##### III.2.1.4.2. Refroidissement

Une batterie de 9 radiateurs est montée sur le transformateur. Ces radiateurs comportent 18 ventilateurs divisés en deux groupes de 9. Le premier groupe est mis en service en automatique par un sélecteur de choix de fonctionnement, le deuxième groupe démarre automatiquement en fonction de la température d'huile.

##### III.2.1.4.3. Protections

L'équipement de protection se compose :

D'un relais **Buchholz** à deux seuils :

La plupart des transformateurs haute tension sont placés dans une cuve remplie d'huile, et comportent un relais Buchholz pour détecter les anomalies internes, toutes ces anomalies pouvant provoquer une alarme ou envoyer un signal de déclenchement.

Quand un arc électrique ou une surchauffe se développe à l'intérieur des enroulements, il y a dégagement de gaz par vaporisation de l'huile. Ces relais ont deux modes différents de détection.

Sur une accumulation lente de gaz, due probablement à une surcharge, le gaz s'accumule dans la partie supérieure du relais tandis que le niveau d'huile diminue. Une détection par flotteur est utilisée dans ce cas pour générer un signal d'alarme. Ce système détecte aussi les fuites d'huile.

Si un arc se forme, l'accumulation de gaz est rapide, et l'huile s'écoule rapidement dans le vase d'expansion. Cet écoulement d'huile actionne un commutateur fixé à une palette située dans le chemin de circulation d'huile. Ce commutateur actionnera normalement un disjoncteur pour arrêter (isoler) l'appareil avant que le défaut ne crée plus de dommages.

Les relais Buchholz ont une vanne de test pour permettre au gaz accumulé d'être retiré pour l'essai. La présence de gaz inflammable dans le relais indique un certain défaut interne tel qu'une surchauffe ou un amorçage d'arc, tandis que l'air trouvé dans le relais indique uniquement que le niveau d'huile est bas ou qu'il y a une fuite.

- d'un indicateur d'un relais de niveau d'huile.
- d'un thermomètre à cadran avec contacts d'alarme de déclenchement.
- de deux thermomètres à image thermique avec transducteurs et contacts d'alarme et de déclenchement.

### **III.3. Conclusion**

L'utilisation de l'électricité est devenue à ce point banal que l'on finit par ignorer ses dangers et considérer sa présence comme quelque chose de naturel. Cependant, toutes ces apparences sont trompeuses et le maintien de la continuité de service nécessite un effort de la part des exploitants des systèmes. Dans ce chapitre, nous avons décrit la station de production électrique de SONALGAZ de m'sila. Dans la suite, on va évaluer le niveau de la sûreté de fonctionnement et on va essayer d'améliorer la fiabilité de cette entreprise.

## Chapitre IV

### IV. Amélioration de production par l'application de maintenance préventive systématique et conditionnelle

#### IV.1. Introduction :

L'application de la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de central électrique (SPE) de faire face à l'étude expérimentale des indicateurs FMD et de tracer les courbes de ces trois indicateurs.

#### IV.2. Historique des pannes

D'après l'historique de pannes de la station de production électrique, on résume les temps d'arrêt dans le tableau suivant :

Les éléments	Fréquences de pannes	Les heures de pannes
TURBO-COMP	21	645,54
COMBUSTIBLE	6	79,58
Combustion	47	66,46
Poste Gaz	1	0,55
Alternateur	9	123,75
SERVICE.AUX	2	1439,03
Auxiliaires groupe	20	126,76
Système de lancement	5	253,84
Divers	9	235,97
Excitatrice	1	20,3
Circuit d'air comprimé	1	2,53
Circuit d'huile	1	5,81

Tableau IV.1 Historique de panne de station de production électrique (M'sila 3)

#### IV.3. Calcul les paramètres de Weibull

Les deux tableaux suivants (tableau IV.2 et IV.3) comportent les TBF classés par ordre croissant, et les  $F(i)$  calculés par la méthode des ranges moyen  $F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t)$  (Dans notre cas  $N > 20$ ) puis on utilisera le papier de Weibull pour tracer la courbe  $F(i)$  en fonction de TBF :

Année 2013					Année 2014				
N	TBF	F(i)	F(t)	Dn max	N	TBF	F(i)	F(t)	Dn max
1	23,92	0,02941176	0,0115762	0,01783556	1	8,00	0,03125	0,01228032	0,01896968
2	29,00	0,05882353	0,02036344	0,03846009	2	18,20	0,0625	0,02846384	0,03403616
3	36,95	0,08823529	0,03394975	0,05428555	3	22,53	0,09375	0,03525868	0,05849132
4	42,65	0,11764706	0,04357474	0,07407232	4	73,00	0,125	0,11097831	0,01402169
5	46,07	0,14705882	0,04929808	0,09776075	5	78,48	0,15625	0,11883883	0,03741117
6	87,65	0,17647059	0,11627051	0,06020008	6	94,63	0,1875	0,14158885	0,04591115
7	89,18	0,20588235	0,11864773	0,08723462	7	128,20	0,21875	0,18701155	0,03173845
8	97,65	0,23529412	0,13165945	0,10363467	8	128,93	0,25	0,1879766	0,0620234
9	<b>104,12</b>	<b>0,26470588</b>	<b>0,14146799</b>	<b>0,1232379</b>	9	158,27	0,28125	0,22565353	0,05559647
10	166,03	0,29411765	0,22995052	0,06416713	10	166,12	0,3125	0,23543645	0,07706355
11	182,08	0,32352941	0,2513589	0,07217051	11	174,70	0,34375	0,24599188	0,09775812
12	191,55	0,35294118	0,26370594	0,08923523	12	180,82	0,375	0,25342485	0,12157515
13	231,42	0,38235294	0,31350724	0,0688457	13	213,18	0,40625	0,29155418	0,11469582
14	262,17	0,41176471	0,34960683	0,06215788	14	225,62	0,4375	0,30567794	0,13182206
15	272,62	0,44117647	0,36143753	0,07973895	15	231,38	0,46875	0,3121327	0,1566173
16	309,95	0,47058824	0,40197298	0,06861526	16	233,23	0,5	0,31419071	0,18580929
17	375,85	0,5	0,46734752	0,03265248	<b>17</b>	<b>255,03</b>	<b>0,53125</b>	<b>0,33798303</b>	<b>0,19326697</b>
18	387,83	0,52941176	0,47844327	0,0509685	18	385,95	0,5625	0,46447268	0,09802732
19	402,20	0,55882353	0,49144158	0,06738195	19	420,87	0,59375	0,4939178	0,0998322
20	466,58	0,58823529	0,54582722	0,04240807	20	421,25	0,625	0,49423191	0,13076809
21	472,00	0,61764706	0,55012839	0,06751866	21	428,50	0,65625	0,50013615	0,15611385
22	521,83	0,64705882	0,58783661	0,05922222	22	526,08	0,6875	0,57321309	0,11428691
23	528,73	0,67647059	0,59280239	0,0836682	23	606,95	0,71875	0,62560586	0,09314414
24	605,00	0,70588235	0,64386096	0,06202139	24	683,28	0,75	0,66914648	0,08085352
25	606,48	0,73529412	0,64478795	0,09050617	25	815,33	0,78125	0,73285252	0,04839748
26	648,28	0,76470588	0,6699366	0,09476928	26	982,28	0,8125	0,7961468	0,0163532
27	668,83	0,79411765	0,68163946	0,11247819	27	1022,23	0,84375	0,80891944	0,03483056
28	762,33	0,82352941	0,72986204	0,09366737	28	1176,38	0,875	0,85113707	0,02386293
29	863,22	0,85294118	0,77373413	0,07920705	29	1586,00	0,90625	0,92332391	0,01707391
30	989,72	0,88235294	0,81882058	0,06353236	30	2400,53	0,9375	0,97950194	0,04200194
31	1071,30	0,91176471	0,84301188	0,06875282	31	3056,20	0,96875	0,99291217	0,02416217
32	1904,47	0,94117647	0,96367364	0,02249717					
33	2109,33	0,97058824	0,97465317	0,00406493					

Tableau IV.2 Fonction de réparation réelle et théorique pour les années 2013 et 2014

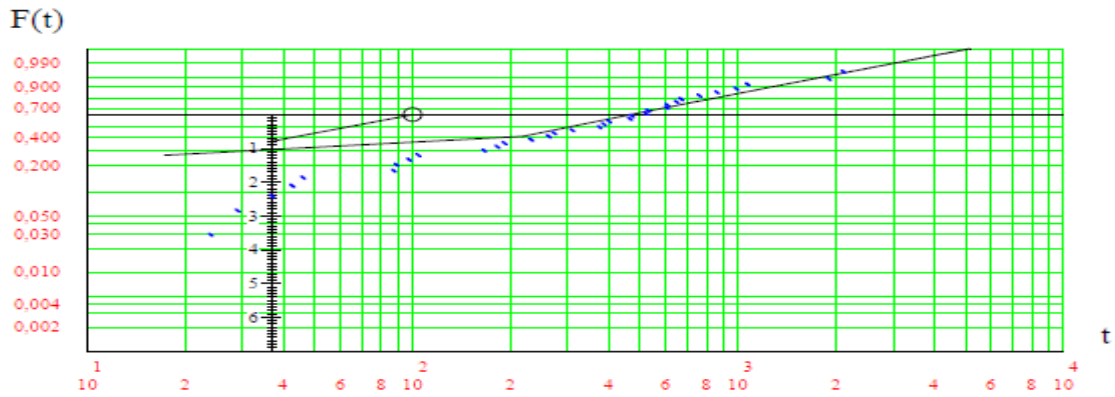
Année 2015					Année 2016				
N	TBF	F(i)	F(t)	Dn max	N	TBF	F(i)	F(t)	Dn max
1	3,18	0,03571429	0,00742115	0,02829314	1	35,32	0,03703704	0,00423147	0,03280557
2	24,35	0,07142857	0,03551537	0,0359132	2	43,92	0,07407407	0,01386891	0,06020517
3	55,33	0,10714286	0,07521152	0,03193134	3	45,88	0,11111111	0,01605968	0,09505143
4	76,33	0,14285714	0,10118379	0,04167335	4	74,00	0,14814815	0,04685335	0,1012948
5	87,15	0,17857143	0,11427566	0,06429577	5	86,72	0,18518519	0,06046244	0,12472275
6	94,72	0,21428571	0,12332039	0,09096533	6	119,62	0,22222222	0,09477641	0,12744581
7	100,98	0,25	0,13074122	0,11925878	7	130,70	0,25925926	0,10605157	0,15320769
8	114,38	0,28571429	0,14639907	0,13931522	8	142,57	0,2962963	0,11796798	0,17832832
9	119,40	0,32142857	0,15218819	0,16924038	9	160,60	0,33333333	0,1357735	0,19755984
10	123,15	0,35714286	0,15648995	0,20065291	10	185,15	0,37037037	0,15943702	0,21093335
11	153,87	0,39285714	0,19091442	0,20194273	11	211,63	0,40740741	0,18423811	0,2231693
12	157,22	0,42857143	0,19458278	0,23398865	12	289,17	0,44444444	0,25271854	0,19172591
13	210,05	0,46428571	0,25028579	0,21399992	13	386,28	0,48148148	0,33044389	0,15103759
14	323,67	0,5	0,35736866	0,14263134	14	406,35	0,51851852	0,34546696	0,17305155
15	332,58	0,53571429	0,36509476	0,17061953	15	410,83	0,55555556	0,34877711	0,20677845
16	451,20	0,57142857	0,45945797	0,1119706	16	429,63	0,59259259	0,36247628	0,23011632
17	474,28	0,60714286	0,47612145	0,13102141	17	502,35	0,62962963	0,41280443	0,2168252
18	596,23	0,64285714	0,55599543	0,08686172	18	592,82	0,66666667	0,4699076	0,19675907
19	687,18	0,67857143	0,60752953	0,0710419	19	961,90	0,7037037	0,65079338	0,05291032
20	751,12	0,71428571	0,64013254	0,07415318	20	1033,50	0,74074074	0,67795444	0,0627863
21	1005,80	0,75	0,74525624	0,00474376	21	1079,57	0,77777778	0,69430211	0,08347567
22	1006,92	0,78571429	0,74564182	0,04007246	22	1236,42	0,81481481	0,74398926	0,07082556
23	1180,57	0,82142857	0,79902362	0,02240496	23	1929,13	0,85185185	0,88303876	0,03118691
24	1773,80	0,85714286	0,91012075	0,05297789	24	2380,88	0,88888889	0,9298266	0,04093772
25	1824,88	0,89285714	0,916138	0,02328085	25	2453,00	0,92592593	0,93532245	0,00939652
26	2193,00	0,92857143	0,94910204	0,02053061	26	2892,52	0,96296296	0,96065475	0,00230821
27	2535,12	0,96428571	0,9679998	0,00371409					

**Tableau IV.3 Fonction de réparation réelle et théorique pour les années 2015 et 2016**

A partir des courbes illustrées par la Fig .IV.1, Fig .IV.2, Fig .IV.3 et Fig .IV.4, et les résultats de logiciel Fiab-Optim, on peut extraire les paramètres  $\beta$ ,  $\eta$  et  $\gamma$  pour les années 2013, 2014, 2015 et 2016. Le tableau suivant (tableau IV.4) montre les paramètres de la méthode Weibull pour l'année 2013:

Paramètres	valeur
Beta	0.79121941
Eta	450.40022
Gamma	17.288494
MTBF	531.61

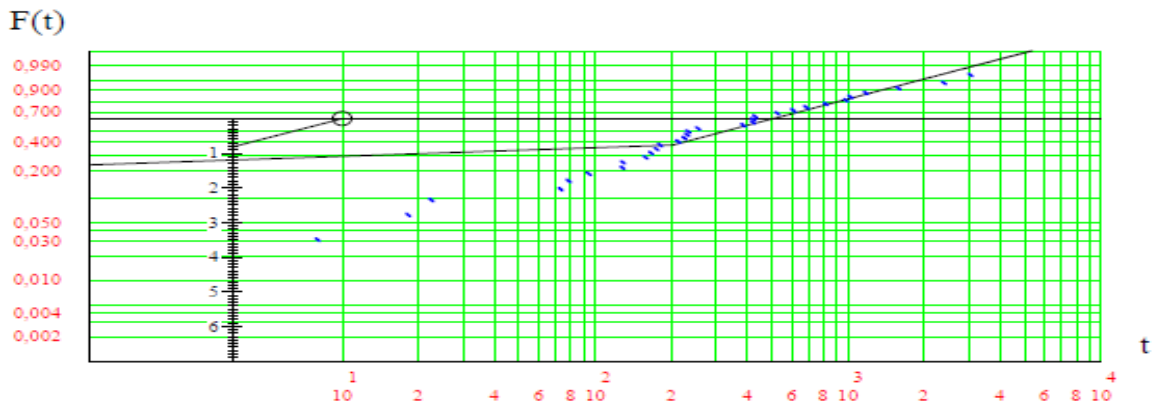
**Tableau IV.4 les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2013**



**Figure IV:1**Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel Fiab-Optim pour l'année 2013  
 Le tableau IV.5 montre les paramètres de la méthode Weibull pour l'année 2014 :

Paramétrés	valeur
<b>Beta</b>	0,81965292
<b>Eta</b>	506,06669
<b>Gamma</b>	0,37148607
<b>MTBF</b>	564,1333

**Tableau IV.5**les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2014



**Figure IV:2**Papier de Weibull : résultat de simulation du logiciel Fiab-Optim pour l'année 2014  
 Le tableau suivant (tableau IV.6) montre les paramètres de la méthode Weibull pour l'année 2015 :

Paramétrés	valeur
<b>Beta</b>	0,76556836
<b>Eta</b>	563,11167
<b>Gamma</b>	-3,3536649
<b>MTBF</b>	656,09861

**Tableau IV.6**les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2015

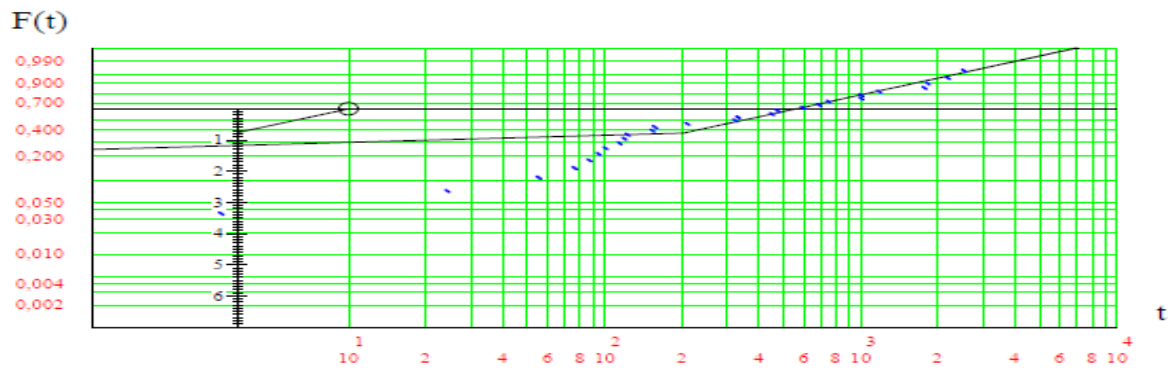


Figure IV:3Papier de Weibull : résultat de simulation dulogiciel Fiab-Optimpour l'année 2015

Le tableau suivant (tableau IV.7) montre les paramètres de la méthode Wiebull pour l'année 2016 :

Paramétrés	Valeur
Beta	0,6474733
Eta	572,54126
Gamma	31,566969
MTBF	817,21983

Tableau IV.7les paramètres de la méthode de Weibull pour l'année 2016

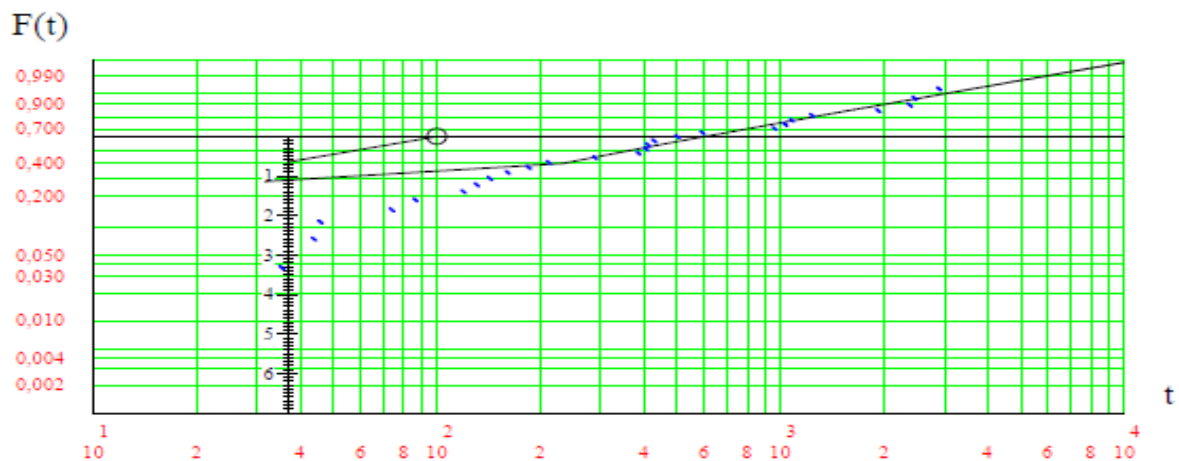


Figure IV:4Papier de Weibull : résultat de logiciel Fiab-Optim pour l'année 2016

### IV.3.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de  $\alpha = 5\%$ . Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F(i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  puis prendre le maximum en valeur absolue  $D_{n,max}$ .

Cette valeur est comparée avec  $D_n \cdot \alpha$  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov.

D'après le tableau de K-S:(voir annexe),  $D_{Nmax} < D_{N\alpha}$  Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté. Nous avons pris la valeur maximale  $D_{Nmax} = |F(i) - F(t)|$ .

année	2013	2014	2015	2016
$D_{N_{max}} =  F(i) - F(t) $	0,1232379	0,19326697	0,23398865	0,23011632
$D_{N,\alpha}$	$D_{9\ 0.05} = 0,432$	$D_{17\ 0.05} = 0.318$	$D_{12\ 0.05} = 0,375$	$D_{16\ 0.05} = 0,328$

**Tableau IV.8 les valeurs de  $D_n$  max et de  $D_n\alpha$  pour les années 2013, 2014, 2015 et 2016**

D'après le tableau (IV.8), on remarque que les  $D_{N,\alpha}$  pour les quatre années est supérieur à  $D_{N_{max}}$ . Dans ce cas la loi de Weibull est acceptable à utiliser.

### IV.3.2. Les paramètres de loi de WEIBULL

#### IV.3.2.1. Le MTBF

La moyenne du temps de bon fonctionnement est exprimée par la formule suivante :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \Rightarrow MTBF = \frac{531.61 + 564,1333 + 656,09861 + 817,21983}{4} = 642,265435 \text{ (h)}$$

#### IV.3.2.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF

La densité de probabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement est donnée comme suit :

$$f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (IV-1)$$

Les résultats de la densité de probabilité en fonction de moyenne du temps de bon fonctionnement pour les quatre ans sont résumés dans le tableau suivant :

	2013	2014	2015	2016
F (MTBF) :	0,00065754	0,0006374	0,00053028	0,00041602

**Tableau IV.9 la densité de probabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement pour quatre ans**

#### IV.3.2.3. La fonction de répartition en fonction de MTBF

La fonction de répartition pour la moyenne du temps de bon fonctionnement est exprimée par la relation suivante :

$$F(MTBF) = 1 - e^{-\left[ \frac{MTBF - \gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (IV-2)$$

Les résultats de la fonction de répartition en fonction de moyenne du temps de bon fonctionnement pour les quatre ans sont résumés dans le tableau suivant :

	2013	2014	2015	2016
F(MTBF)	0,59491188	0,59872196	0,5897696	0,58871799

**Tableau IV.10**La fonction de répartition en fonction de MTBF pour quatre ans

#### IV.3.2.4. La fiabilité en fonction de MTBF

La formule suivante permet de calculer la fiabilité pour un moyen du temps de bon fonctionnement (MTBF).

$$R(t=MTBF) = 1 - F(t= MTBF) \quad (IV-1)$$

Les résultats de la fiabilité en fonction de moyenne du temps de bon fonctionnement pour les quatre ans sont résumés dans le tableau suivant :

	2013	2014	2015	2016
R(MTBF)	0.40508820	0.4128804	0.4102304	0.41128201

**Tableau IV.11**la fiabilité en fonction de MTBF pour quatre ans

D'après le tableau IV.11, on voit que la fiabilité de la moyenne du temps de bon fonctionnement pour les quatre années (2013, 2014, 2015, 2016) sont réduites, et la moyenne de cette dernière égale à 41%.

#### IV.3.2.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF

La formule suivante est exprimée le taux de défaillance en fonction de moyenne du temps de bon fonctionnement :

$$\lambda(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{MTBF - \delta}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad IV-4$$

Les résultats du taux de défaillance en fonction de moyenne du temps de bon fonctionnement pour les quatre ans sont résumés dans le tableau suivant :

	2013	2014	2015	2016
$\lambda(MTBF)$	0,00170864	0,00158842	0,001295	0,00101151

**Tableau IV.12**Le taux de défaillance en fonction de MTBF pour quatre ans

### IV.3.3. Étude du modèle de Weibull

A l'aide des temps de bon fonctionnement de station de production électrique et les paramètres extraits par la méthode de Weibull, nous pouvons calculer les fonctions suivantes : la densité de probabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité pour les quatre années (2013, 2014, 2015, 2016).

**IV.3.3.1. La fonction de la densité de probabilité**

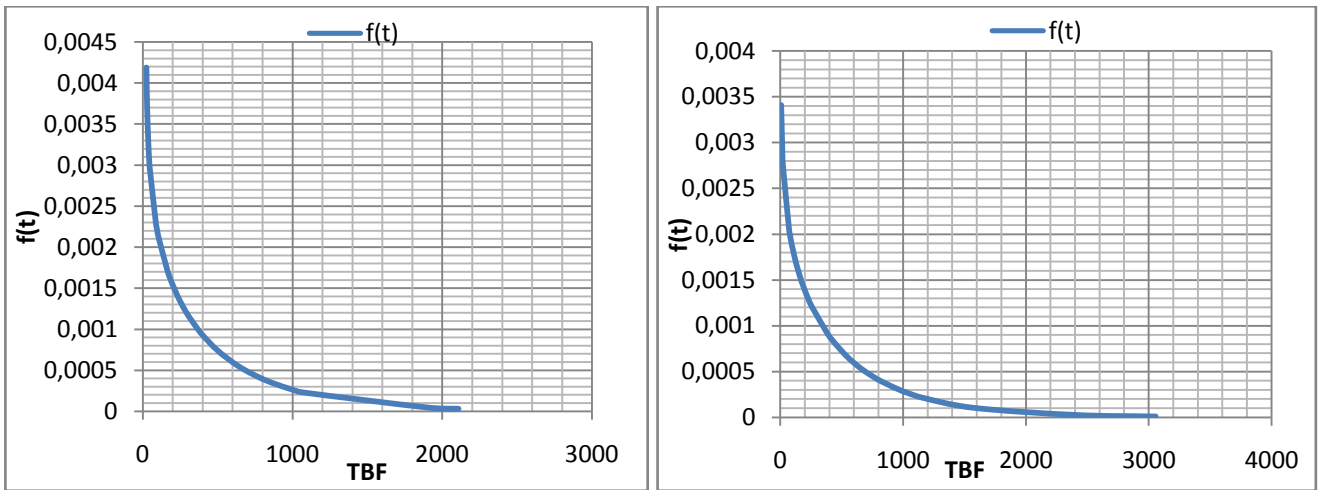
On peut définir la fonction de densité de probabilité en fonction des paramètres de méthode de Weibull par la relation suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV— 5})$$

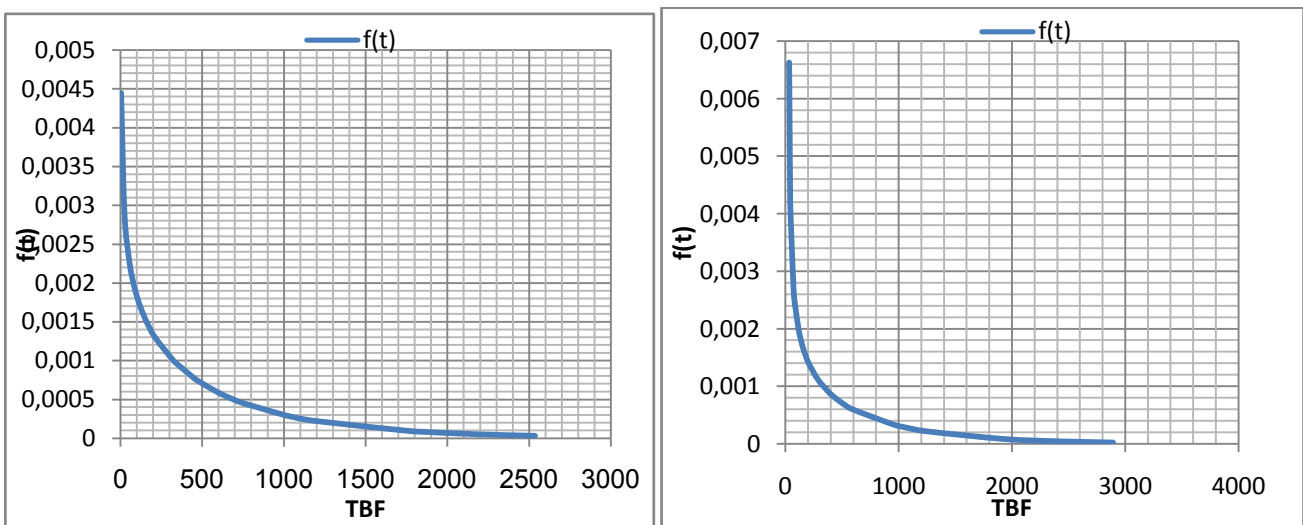
Les résultats de calcul de la densité de probabilité en fonction de TBF et les paramètres de méthode de Weibull pour les quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016) sont présentés par le tableau IV.13 et les deux figures (IV.5 et IV.6) :

Année 2013			Année 2014			Année 2015			Année 2016		
N	TBF	f(t)	N	TBF	f(t)	N	TBF	f(t)	N	TBF	f(t)
1	23,92	0,00418958	1	8	0,003409	1	3,18	0,004449	1	35,32	0,006629
2	29	0,00368704	2	18,2	0,002877	2	24,35	0,002867	2	43,92	0,004312
3	36,95	0,00326314	3	22,53	0,002747	3	55,33	0,00225	3	45,88	0,004084
4	42,65	0,00306341	4	73	0,002044	4	76,33	0,002017	4	74,00	0,002698
5	46,07	0,00296578	5	78,48	0,001999	5	87,15	0,001922	5	86,72	0,002424
6	87,65	0,00228744	6	94,63	0,001883	6	94,72	0,001863	6	119,62	0,001981
7	89,18	0,00227104	7	128,2	0,001688	7	100,98	0,001817	7	130,70	0,001876
8	97,65	0,00218611	8	128,93	0,001684	8	114,38	0,001729	8	142,57	0,001779
9	104,12	0,00212677	9	158,27	0,001547	9	119,40	0,001698	9	160,60	0,001653
10	166,03	0,0017048	10	166,12	0,001514	10	123,15	0,001677	10	185,15	0,001512
11	182,08	0,00162232	11	174,7	0,00148	11	153,87	0,001519	11	211,63	0,001387
12	191,55	0,00157707	12	180,82	0,001456	12	157,22	0,001504	12	289,17	0,00112
13	231,42	0,00140849	13	213,18	0,001341	13	210,05	0,0013	13	386,28	0,000896
14	262,17	0,00129756	14	225,62	0,001301	14	323,67	0,000997	14	406,35	0,000859
15	272,62	0,00126289	15	231,38	0,001283	15	332,58	0,000978	15	410,83	0,000852
16	309,95	0,0011495	16	233,23	0,001278	16	451,20	0,000769	16	429,63	0,00082
17	375,85	0,00098134	17	255,03	0,001214	17	474,28	0,000736	17	502,35	0,000711
18	387,83	0,00095432	18	385,95	0,000911	18	596,23	0,000588	18	592,82	0,000604
19	402,2	0,00092318	19	420,87	0,000848	19	687,18	0,000501	19	961,90	0,000333
20	466,58	0,00079826	20	421,25	0,000847	20	751,12	0,000449	20	1033,50	0,000299
21	472	0,00078872	21	428,5	0,000834	21	1005,80	0,000295	21	1079,57	0,000279
22	521,83	0,00070709	22	526,08	0,000687	22	1006,92	0,000294	22	1236,42	0,000223
23	528,73	0,00069659	23	606,95	0,000587	23	1180,57	0,000223	23	1929,13	8,67E-05
24	605	0,00059182	24	683,28	0,000508	24	1773,80	8,97E-05	24	2380,88	4,82E-05
25	606,48	0,00058997	25	815,33	0,000397	25	1824,88	8,31E-05	25	2453,00	4,4E-05
26	648,28	0,00054041	26	982,28	0,000293	26	2193,00	4,81E-05	26	2892,52	2,52E-05
27	668,83	0,00051777	27	1022,2	0,000273	27	2535,12	2,91E-05			
28	762,33	0,00042722	28	1176,4	0,000207						
29	863,22	0,00034847	29	1586	0,000101						
30	989,72	0,00027103	30	2400,5	2,51E-05						
31	1071,3	0,00023093	31	3056,2	8,3E-06						
32	1904,5	4,73E-05									

**Tableau IV.13** Calcul de la densité de probabilité pour les quatre ans



**Figure IV:5** Les courbes de densité de probabilité pour les années 2013 et 2014



**Figure IV:6** Les courbes de densité de probabilité pour les années 2015 et 2016

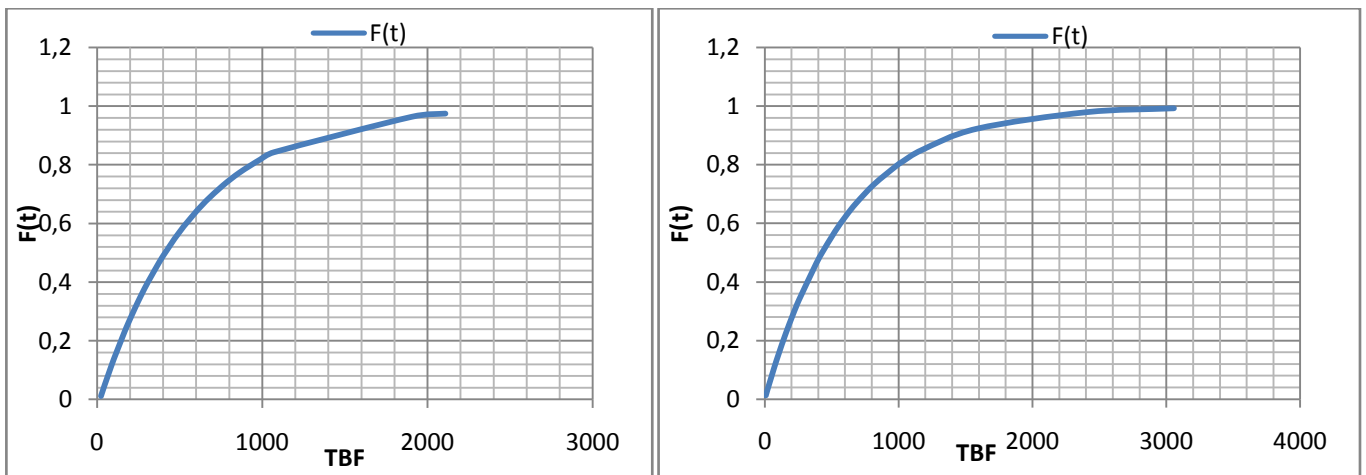
Les deux figures (IV.5 et IV.6) montrent la densité de probabilité en fonction de TBF pour les quatre ans, nous remarquons d'après ces figures que la densité de probabilité est diminuée avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement de la station de production électrique.

**IV.3.3.2. Fonction de répartition F(t)**

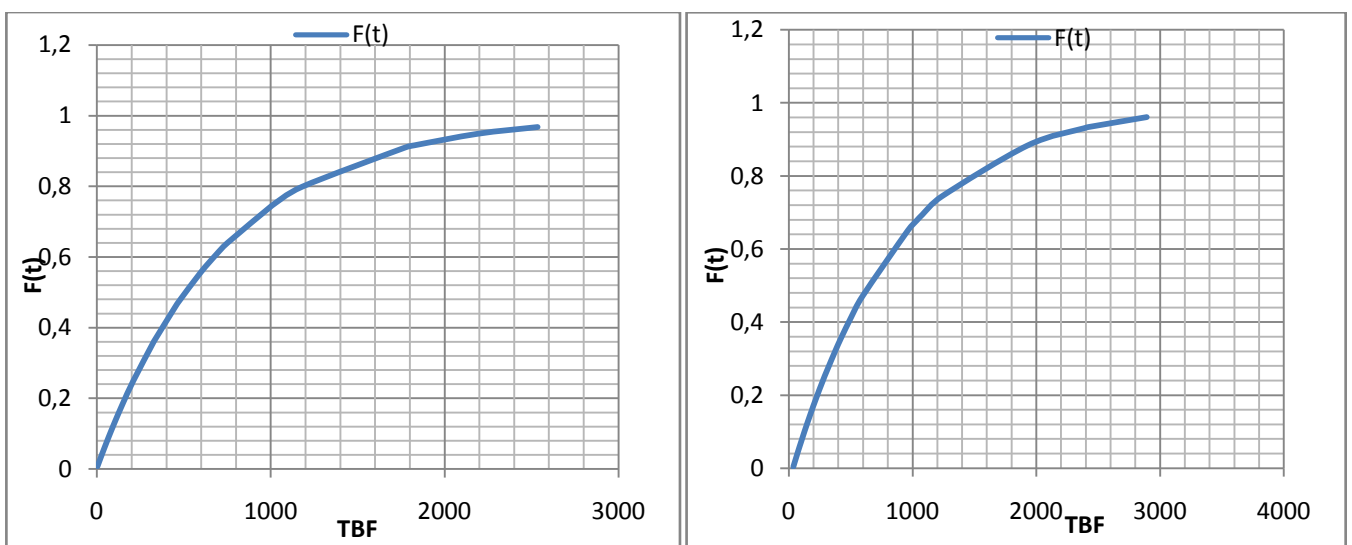
La fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres extraits par le modèle de Weibull est exprimée par l'équation suivante :

$$F(t) = 1 - e^{\left(\frac{-t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{IV— 6)}$$

On utilise les deux tableaux précédents (tableau IV.2 et IV.3) pour visualiser les courbes de fonction de répartition pour les quatre ans (2013,2014, 2015 et 2015). Les résultats de simulation sont illustrés par les deux figures suivantes (Fig. IV.7 et Fig .IV.8).



**Figure IV:7** Les courbes de fonction de répartition pour les années 2013 et 2014



**Figure IV:8** Les courbes de fonction de répartition pour les années 2015 et 2016

Les deux figures précédentes (Fig. IV.7 et IV.8) illustrent la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement, on voit d'après ces courbes que la fonction de répartition augmente avec la croissance du temps de bon fonctionnement de station de production électrique.

#### IV.4. La fiabilité

La fiabilité en fonction de la fonction de répartition est donnée par l'expression suivante:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{IV—2}$$

$$R(t) = e^{\left(\frac{-(t-\gamma)^\beta}{\eta}\right)} \quad \text{(IV—8)}$$

Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau IV.14 et les deux figures suivantes (Fig.IV.9 et VI.10) :

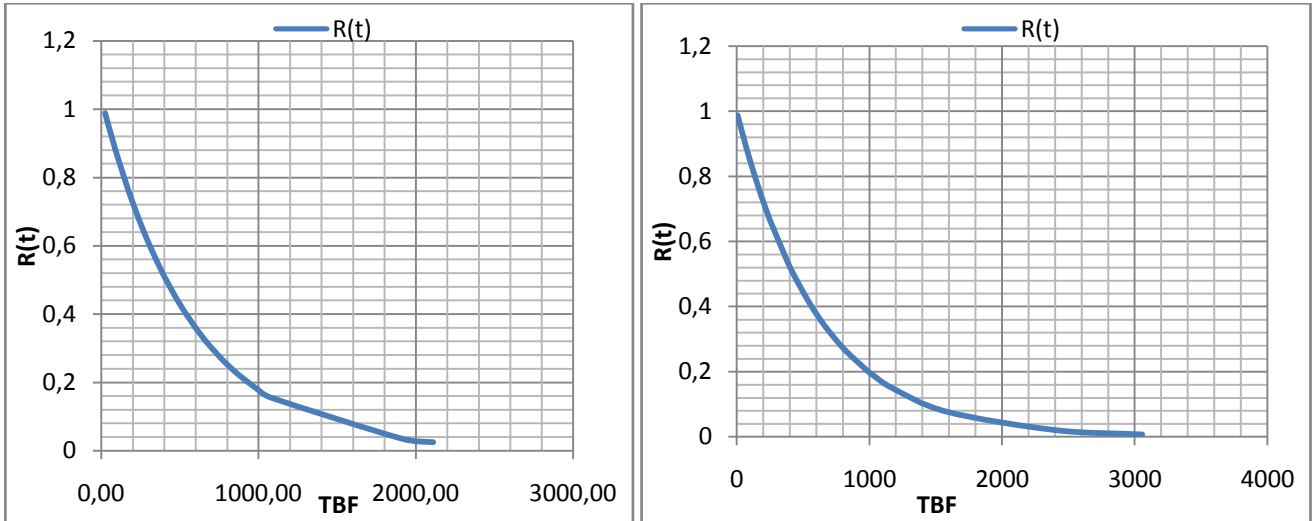
Les calculs de la fiabilité en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres du modèle de Weibull sont effectués par la formule suivante :

Année 2013			Année 2014		
N	TBF	R(t)	N	TBF	R(t)
1	23,92	0,9884238	1	8	0,98771968
2	29,00	0,97963656	2	18,2	0,97153616
3	36,95	0,96605025	3	22,53333	0,96474132
4	42,65	0,95642526	4	73	0,88902169
5	46,07	0,95070192	5	78,48333	0,88116117
6	87,65	0,88372949	6	94,63333	0,85841115
7	89,18	0,88135227	7	128,2	0,81298845
8	97,65	0,86834055	8	128,9333	0,8120234
9	104,12	0,85853201	9	158,2667	0,77434647
10	166,03	0,77004948	10	166,1167	0,76456355
11	182,08	0,7486411	11	174,7	0,75400812
12	191,55	0,73629406	12	180,8167	0,74657515
13	231,42	0,68649276	13	213,1833	0,70844582
14	262,17	0,65039317	14	225,6167	0,69432206
15	272,62	0,63856247	15	231,3833	0,6878673
16	309,95	0,59802702	16	233,2333	0,68580929
17	375,85	0,53265248	17	255,0333	0,66201697
18	387,83	0,52155673	18	385,95	0,53552732
19	402,20	0,50855842	19	420,8667	0,5060822
20	466,58	0,45417278	20	421,25	0,50576809
21	472,00	0,44987161	21	428,5	0,49986385
22	521,83	0,41216339	22	526,0833	0,42678691
23	528,73	0,40719761	23	606,95	0,37439414
24	605,00	0,35613904	24	683,2833	0,33085352
25	606,48	0,35521205	25	815,3333	0,26714748
26	648,28	0,3300634	26	982,2833	0,2038532
27	668,83	0,31836054	27	1022,233	0,19108056
28	762,33	0,27013796	28	1176,383	0,14886293
29	863,22	0,22626587	29	1586	0,07667609
30	989,72	0,18117942	30	2400,533	0,02049806
31	1071,30	0,15698812	31	3056,2	0,00708783
32	1904,47	0,03632636			
33	2109,33	0,02534683			

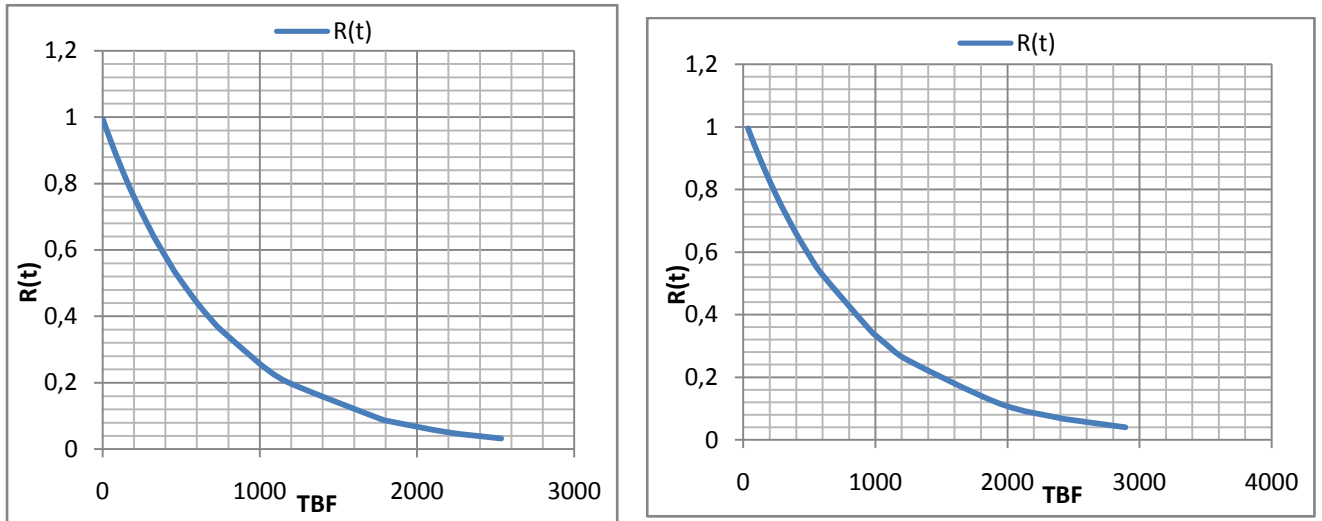
Tableau IV.14 Calcul de la fiabilité pour les quatre ans (2013 et 2014)

Année 2015			Année 2016		
N	TBF	R(t)	N	TBF	R(t)
1	3,183333	0,99257885	1	35,31667	0,99576853
2	24,35	0,96448463	2	43,91667	0,98613109
3	55,33333	0,92478848	3	45,88333	0,98394032
4	76,33333	0,89881621	4	74	0,95314665
5	87,15	0,88572434	5	86,71667	0,93953756
6	94,71667	0,87667961	6	119,6167	0,90522359
7	100,9833	0,86925878	7	130,7	0,89394843
8	114,3833	0,85360093	8	142,5667	0,88203202
9	119,4	0,84781181	9	160,6	0,8642265
10	123,15	0,84351005	10	185,15	0,84056298
11	153,8667	0,80908558	11	211,6333	0,81576189
12	157,2167	0,80541722	12	289,1667	0,74728146
13	210,05	0,74971421	13	386,2833	0,66955611
14	323,6667	0,64263134	14	406,35	0,65453304
15	332,5833	0,63490524	15	410,8333	0,65122289
16	451,2	0,54054203	16	429,6333	0,63752372
17	474,2833	0,52387855	17	502,35	0,58719557
18	596,2333	0,44400457	18	592,8167	0,5300924
19	687,1833	0,39247047	19	961,9	0,34920662
20	751,1167	0,35986746	20	1033,5	0,32204556
21	1005,8	0,25474376	21	1079,567	0,30569789
22	1006,917	0,25435818	22	1236,417	0,25601074
23	1180,567	0,20097638	23	1929,133	0,11696124
24	1773,8	0,08987925	24	2380,883	0,0701734
25	1824,883	0,083862	25	2453	0,06467755
26	2193	0,05089796	26	2892,517	0,03934525
27	2535,117	0,0320002			

Tableau IV.15 Calcul de la fiabilité pour les quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016)



**Figure IV:9 Les courbes de la fonction de fiabilité pour les années 2013 et 2014**



**Figure IV:10 Les courbes de la fonction de fiabilité pour les années 2015 et 2016**

Les figures IV.9 et IV.10 présentent la fiabilité en fonction du temps de bon fonctionnement de la station de production électrique pour quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016). On remarque d'après les courbes de ces figures que la fiabilité diminue avec le temps et la croissance du taux de défaillance.

#### IV.4.1. Le taux de défaillance

Les calculs du taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres du modèle de Weibull sont effectués par la formule suivante:

$$\lambda(t) = \beta \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{IV— 9})$$

Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau IV.15 et les deux figures suivantes (Fig. IV.11 et VI.12) :

Année 2013			Année 2014		
N	TBF	$\lambda(t)$	N	TBF	$\lambda(t)$
1	23,91667	0,00423865	1	8	0,00345111
2	29	0,00376368	2	18,2	0,00296124
3	36,95	0,00337782	3	22,53333	0,0028473
4	42,65	0,00320298	4	73	0,00229863
5	46,06667	0,00311957	5	78,48333	0,00226865
6	87,65	0,00258839	6	94,63333	0,00219305
7	89,18333	0,00257677	7	128,2	0,00207582
8	97,65	0,00251757	8	128,9333	0,00207368
9	104,1167	0,00247721	9	158,2667	0,00199823
10	166,0333	0,00221388	10	166,1167	0,00198082
11	182,0833	0,00216702	11	174,7	0,00196287
12	191,55	0,0021419	12	180,8167	0,0019507
13	231,4167	0,00205172	13	213,1833	0,00189352
14	262,1667	0,00199504	14	225,6167	0,00187422
15	272,6167	0,00197771	15	231,3833	0,0018657
16	309,95	0,00192216	16	233,2333	0,00186302
17	375,85	0,00184236	17	255,0333	0,00183319
18	387,8333	0,00182976	18	385,95	0,00170106
19	402,2	0,00181529	19	420,8667	0,00167467
20	466,5833	0,0017576	20	421,25	0,0016744
21	472	0,00175321	21	428,5	0,00166925
22	521,8333	0,00171556	22	526,0833	0,00160857
23	528,7333	0,0017107	23	606,95	0,00156759
24	604,9997	0,00166177	24	683,2833	0,00153444
25	606,4833	0,00166089	25	815,3333	0,00148629
26	648,2833	0,0016373	26	982,2833	0,00143717
27	668,8333	0,00162638	27	1022,233	0,00142687
28	762,3333	0,00158147	28	1176,383	0,00139117
29	863,2167	0,0015401	29	1586	0,00131818
30	989,7167	0,00149593	30	2400,533	0,00122322
31	1071,3	0,00147098	31	3056,2	0,00117109
32	1904,467	0,00130254			

Tableau IV.16 Calcul du taux de défaillance pour quatre ans (2013 et 2014)

Année 2015			Année 2016		
N	TBF	$\lambda(t)$	N	TBF	$\lambda(t)$
1	3,183333	0,00448191	1	35,31667	0,00665682
2	24,35	0,00297264	2	43,91667	0,00437298
3	55,33333	0,00243279	3	45,88333	0,00415101
4	76,33333	0,0022441	4	74	0,00283013
5	87,15	0,00217018	5	86,71667	0,00258033
6	94,71667	0,00212487	6	119,6167	0,002188
7	100,9833	0,00209059	7	130,7	0,00209843
8	114,3833	0,00202535	8	142,5667	0,00201644
9	119,4	0,00200332	9	160,6	0,00191222
10	123,15	0,00198758	10	185,15	0,00179834
11	153,8667	0,00187762	11	211,6333	0,00170026
12	157,2167	0,00186729	12	289,1667	0,00149863
13	210,05	0,0017335	13	386,2833	0,0013388
14	323,6667	0,0015508	14	406,35	0,00131307
15	332,5833	0,00153996	15	410,8333	0,00130758
16	451,2	0,00142327	16	429,6333	0,00128547
17	474,2833	0,00140502	17	502,35	0,00121164
18	596,2333	0,00132425	18	592,8167	0,00113885
19	687,1833	0,00127645	19	961,9	0,000953
20	751,1167	0,00124737	20	1033,5	0,00092841
21	1005,8	0,00115645	21	1079,567	0,00091381
22	1006,917	0,00115612	22	1236,417	0,00086997
23	1180,567	0,00110939	23	1929,133	0,00074125
24	1773,8	0,00099817	24	2380,883	0,00068749
25	1824,883	0,00099084	25	2453	0,0006802
26	2193	0,00094469	26	2892,517	0,00064136
27	2535,117	0,00090979			

Tableau IV.17 Calcul du taux de défaillance pour quatre ans (2015 et 2016)

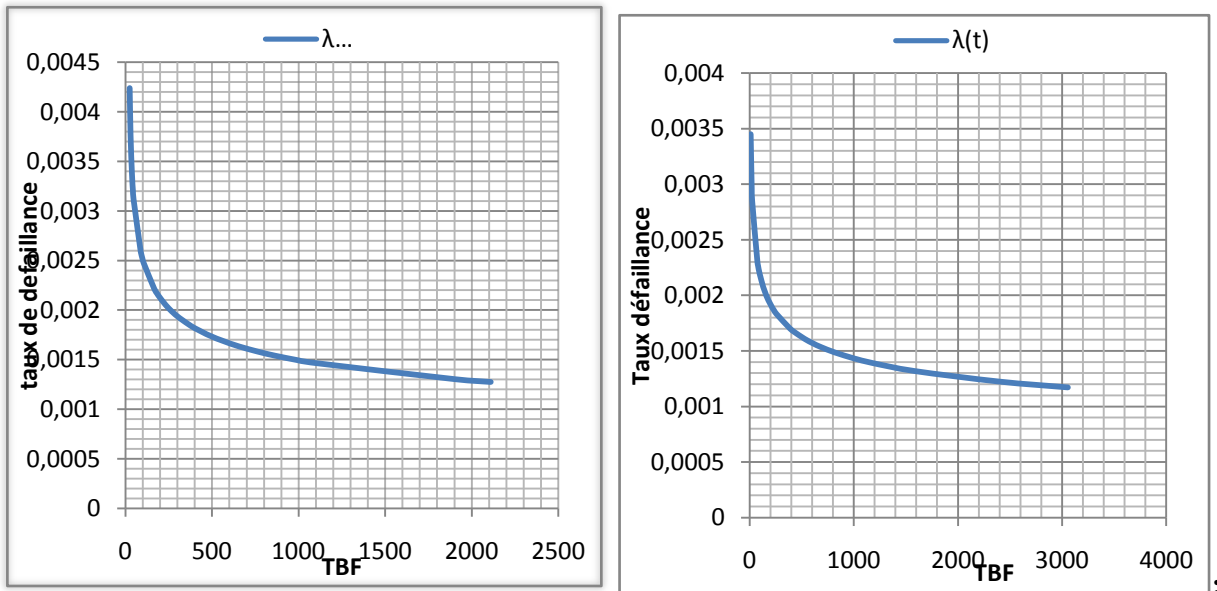


Figure IV:11 Les courbes du taux de défaillance pour les années 2013 et 2014

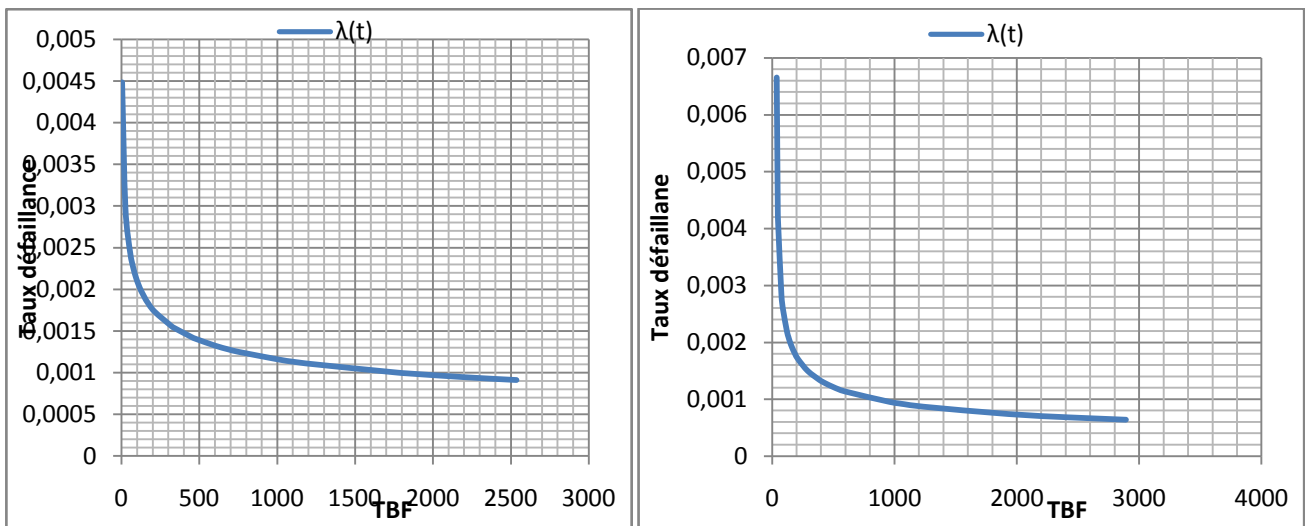


Figure IV:12 Les courbes du taux de défaillance pour les années 2015 et 2016

Les figures IV.11 et IV.12 exposent le taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement de la station de production électrique pour quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016). On remarque d'après les courbes de ces figures que le taux de défaillance augmente avec le temps jusqu'à la dégradation de station.

### IV.5. La maintenabilité

La maintenabilité en fonction du taux de réparation est donné par la formule suivante :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

D'après l'historique de panne, on peut calculer la maintenabilité et les résultats de calculs et de simulation sont présentés par le tableau IV.1- et les deux figures suivantes (Fig. IV13 et IV.14) et on a aussi la moyenne du temps de réparation exprimé par :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N}$$

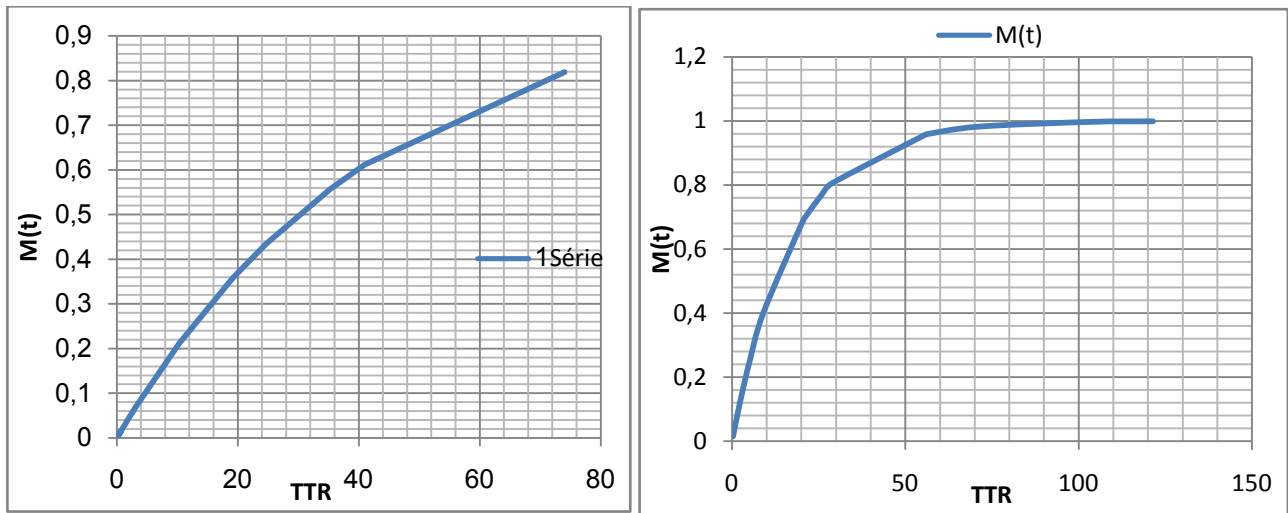
TTR : temps de réparation. Et N : nombre de panne.

Année2013			Année2014		
N°	TTR	M(t)	N	TTR	M(t)
1	0,25	0,005757	1	0,27	0,0150373
2	0,27	0,0061397	2	0,30	0,016901
3	0,28	0,0065221	3	0,38	0,0215448
4	0,30	0,0069045	4	0,42	0,0233962
5	0,32	0,007344	5	0,47	0,0261667
6	0,33	0,0076687	6	0,50	0,0280093
7	0,35	0,0080506	7	0,58	0,0326007
8	0,42	0,0095766	8	0,58	0,0326007
9	0,43	0,0099578	9	0,58	0,0326007
10	0,50	0,0114809	10	0,65	0,0362582
11	0,50	0,0114809	11	0,87	0,0480497
12	0,52	0,0118613	12	0,88	0,0489507
13	0,55	0,0126217	13	1,33	0,0729591
14	0,55	0,0126217	14	1,40	0,076464
15	0,58	0,0133816	15	1,77	0,0955053
16	0,58	0,0133816	16	2,22	0,1183384
17	0,58	0,0133816	17	2,82	0,1478885
18	0,58	0,0133816	18	3,50	0,1803383
19	0,60	0,0137612	19	3,50	0,1803383
20	0,63	0,0145202	20	4,00	0,2032965
21	0,72	0,016415	21	5,00	0,2473018
22	0,93	0,0213244	22	9,02	0,4008903
23	0,95	0,021701	23	20,30	0,6844408
24	1,12	0,0254594	24	22,00	0,7134952
25	1,30	0,0295769	25	25,92	0,7706573
26	1,58	0,0359061	26	28,78	0,8051288
27	1,80	0,0407182	27	56,00	0,9584899
28	1,92	0,0432994	28	56,00	0,9584899
29	2,42	0,0542832	29	71,00	0,9822982
30	2,80	0,0626187	30	103,17	0,9971537
31	3,12	0,069449	31	121,50	0,9989956
32	10,35	0,2126088			
33	19,07	0,3561817			
34	20,07	0,3708801			
35	24,67	0,4342873			
36	35,27	0,5571272			

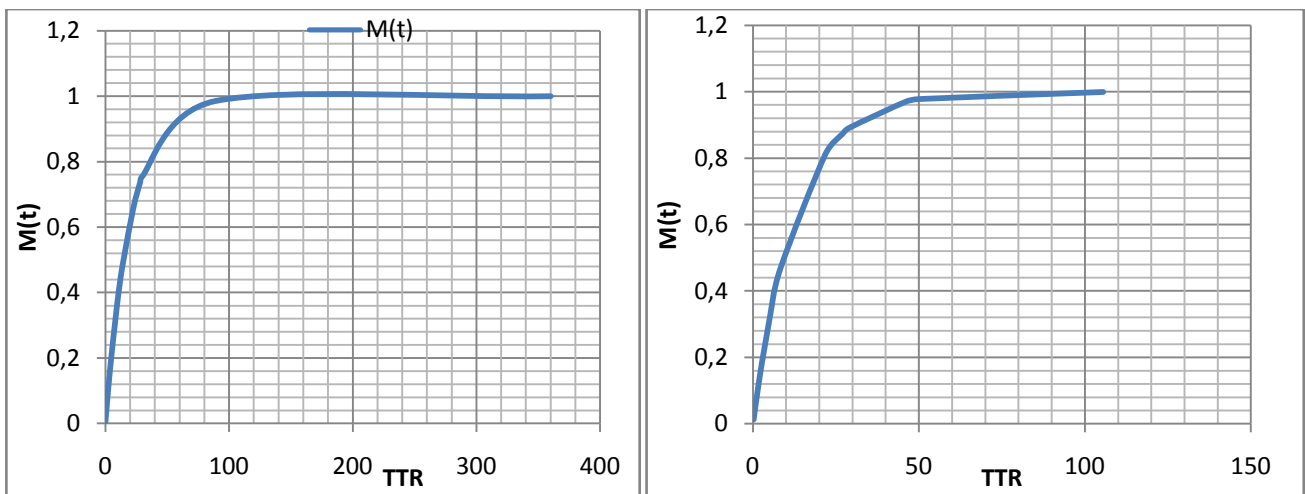
Tableau IV.18 Calculs de la maintenabilité pour quatre ans (2013 et 2014)

Année2015			Année2016		
N	TTR	M(t)	N	TTR	M(t)
1	0,12	0,0055192	1	0,17	0,0126999
2	0,28	0,0133509	2	0,17	0,0126999
3	0,37	0,0172437	3	0,25	0,0189892
4	0,42	0,0195719	4	0,27	0,0202422
5	0,45	0,021121	5	0,28	0,0214937
6	0,45	0,021121	6	0,37	0,027727
7	0,50	0,0234401	7	0,42	0,0314479
8	0,57	0,0265236	8	0,57	0,0425253
9	0,63	0,0295974	9	0,73	0,0546851
10	0,70	0,0326615	10	1,32	0,0960411
11	0,70	0,0326615	11	1,67	0,1199811
12	0,82	0,0380005	12	1,97	0,1399958
13	0,82	0,0380005	13	2,00	0,1421914
14	1,00	0,0463307	14	2,65	0,183902
15	1,25	0,057574	15	2,68	0,1859855
16	1,27	0,0583189	16	5,00	0,318484
17	1,38	0,0635162	17	5,08	0,3228254
18	2,53	0,1132366	18	8,23	0,4681483
19	3,58	0,1563245	19	21,72	0,8108828
20	4,00	0,1728368	20	26,90	0,872913
21	4,10	0,1767515	21	29,00	0,8918165
22	9,42	0,3602712	22	46,10	0,9708493
23	14,00	0,4852823	23	50,00	0,9783847
24	22,63	0,658254	24	105,50	0,9996936
25	25,38	0,700051			
26	28,00	0,7350657			
27	28,23	0,737982			
28	29,50	0,7532626			
29	89,18	0,9854579			
30	360,00	1			

**Tableau IV.19**Calculs de la maintenabilité pour quatre ans (2015 et 2016)



**Figure IV:13 Les courbes de maintenabilité pour les années 2013 et 2014**



**Figure IV:14 Les courbes de maintenabilité pour les années 2015 et 2016**

Les figures IV.13 et IV.14 illustrent la maintenabilité en fonction du temps de panne (TTR) pour quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016), on remarque d'après les courbes de ces figures que la maintenabilité augmente avec l'augmentation du temps de réparation (temps de panne).

## IV.6. La disponibilité

### IV.6.1. La disponibilité intrinsèque théorique

La disponibilité intrinsèque théorique en fonction de moyenne de bon fonctionnement et de moyenne de réparation est exprimée par:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (IV-10)$$

Les résultats de calculs sont résumés par le tableau IV.17 :

	2013	2014	2015	2016
MTTR	43,3	17.6	21.08	13.04
MTBF	531,69	564,13493	654,55695	817,21983
D	0,92469434	0,96974567	0,96879981	0,98429407

**Tableau IV.20** Calcul de disponibilité intrinsèque théorique pour les quatre ans (2013,2014, 2015 et 2016)

#### IV.6.2. La disponibilité instantanée

La disponibilité instantanée en fonction du taux de défaillance et du taux de réparation est exprimée comme suit :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{IV— 11})$$

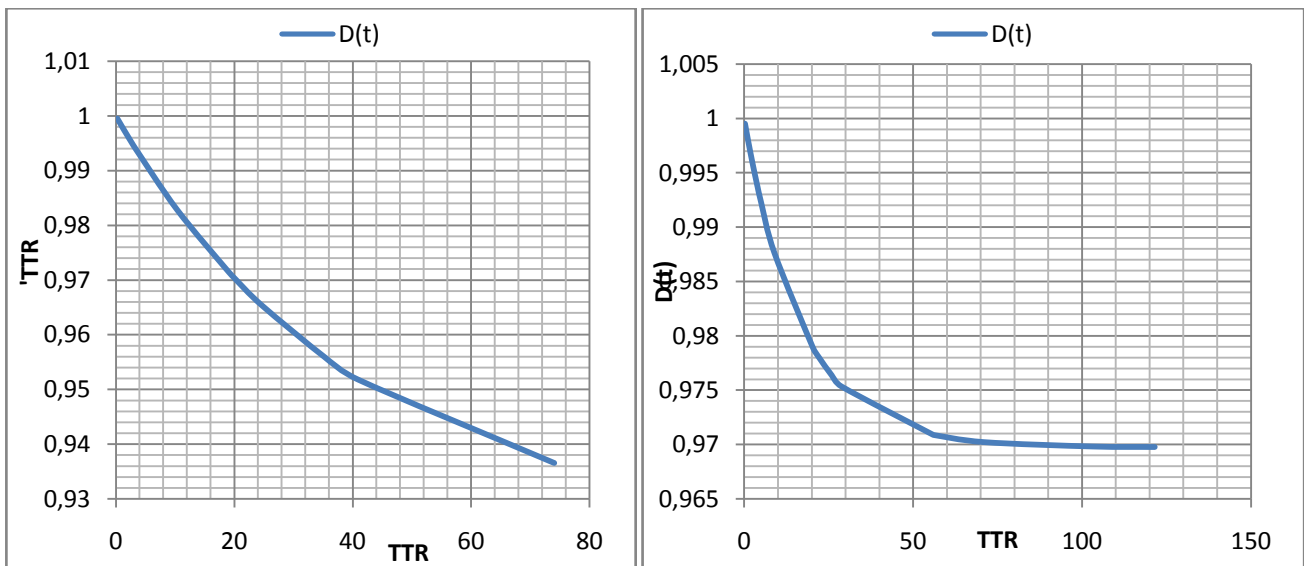
Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau IV.18 et les deux figures suivantes (Fig. IV.15 et VI.16) :

Année2013			Année 2014		
N°	TTR	D(t)	N	TTR	D(t)
1	0,25	0,9995317	1	0,27	0,9995307
2	0,27	0,9995002	2	0,30	0,9994726
3	0,28	0,9994689	3	0,38	0,9993287
4	0,30	0,9994377	4	0,42	0,9992705
5	0,32	0,9994021	5	0,47	0,9991838
6	0,33	0,9993757	6	0,50	0,9991264
7	0,35	0,9993449	7	0,58	0,9989834
8	0,42	0,9992204	8	0,58	0,9989834
9	0,43	0,9991898	9	0,58	0,9989834
10	0,50	0,9990655	10	0,65	0,9988696
11	0,50	0,99906545	11	0,87	0,99850208
12	0,52	0,9990345	12	0,88	0,99847401
13	0,55	0,99897264	13	1,33	0,99772646
14	0,55	0,99897264	14	1,40	0,99761738
15	0,58	0,99891082	15	1,77	0,99702499
16	0,58	0,99891082	16	2,22	0,99631515
17	0,58	0,99891082	17	2,82	0,99539734
18	0,58	0,99891082	18	3,50	0,99439061
19	0,60	0,99887994	19	3,50	0,99439061
20	0,63	0,9988182	20	4,00	0,9936791
21	0,72	0,99866409	21	5,00	0,99231711
22	0,93	0,99826489	22	9,02	0,98758393
23	0,95	0,99823427	23	20,30	0,97895527
24	1,12	0,9979288	24	22,00	0,97808215
25	1,30	0,99759423	25	25,92	0,97637273
26	1,58	0,99708019	26	28,78	0,9753481
27	1,80	0,99668954	27	56,00	0,97088285
28	1,92	0,99648006	28	56,00	0,97088285
29	2,42	0,9955892	29	71,00	0,97021789
30	2,80	0,99491369	30	103,7	0,96981739
31	3,12	0,99436052	31	121,5	0,96977017
32	10,35	0,98284627			
33	19,07	0,97146968			
34	20,07	0,97031591			
35	24,67	0,96536445			
36	35,27	0,9559048			

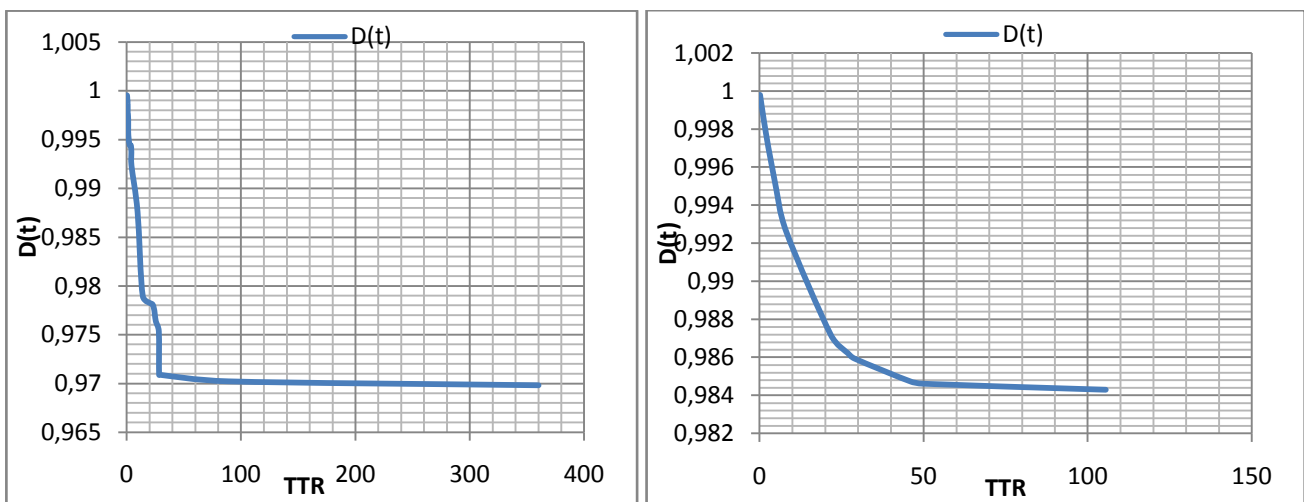
Tableau IV.21de disponibilité instantanée pour les années 2013 et 2014

N	TTR	D(t)	N	TTR	D(t)
1	0,12	0,99953097	1	0,17	0,9997977
2	0,28	0,9994726	2	0,17	0,9997977
3	0,37	0,99932807	3	0,25	0,9996974
4	0,42	0,99927035	4	0,27	0,9996776
5	0,45	0,99918398	5	0,28	0,9996579
6	0,45	0,99912654	6	0,37	0,9995577
7	0,50	0,99898344	7	0,42	0,9994983
8	0,57	0,99898344	8	0,57	0,9993218
9	0,63	0,99898344	9	0,73	0,9991278
10	0,70	0,99886946	10	1,32	0,9984683
11	0,70	0,99850208	11	1,67	0,99808743
12	0,82	0,99847401	12	1,97	0,99776877
13	0,82	0,99772646	13	2,00	0,99773382
14	1,00	0,99761738	14	2,65	0,99707015
15	1,25	0,99702499	15	2,68	0,99703702
16	1,27	0,99631515	16	5,00	0,99493262
17	1,38	0,99539734	17	5,08	0,99486378
18	2,53	0,99439061	18	8,23	0,99256356
19	3,58	0,99439061	19	21,72	0,98718644
20	4,00	0,9936791	20	26,90	0,98622546
21	4,10	0,99231711	21	29,00	0,98593396
22	9,42	0,98758393	22	46,10	0,9847268
23	14,00	0,97895527	23	50,00	0,98461341
24	22,63	0,97808215	24	105,0	0,9842983
28	29,50	0,97088285			
29	89,18	0,97021789			
30	360,0	0,96981739			

**Tableau IV.22de disponibilité instantanée pour les années 2015 et 2016**



**Figure IV:15** Les courbes de disponibilité instantanée pour les années 2013 et 2014



**Figure IV:16** Les courbes de disponibilité instantanée pour les années 2014 et 2016

Les deux figures IV.15 et IV.16 montrent la disponibilité en fonction du temps de réparation pour quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016). D’après les courbes de ces figures, on voit que la disponibilité un peu diminue avec le temps.

Enfin, nous pouvons conclure d’après les résultats obtenus que la fiabilité du central de production soit réduite, le temps de panne est très élevé et le taux de défaillance est considérable. Pour améliorer la fiabilité, il doit extraire les éléments les plus tombent en panne à partir la courbe ABC puis proposer leur solutions.

### **IV.7. Amélioration de la fiabilité par l'application de la maintenance préventive systématique**

- **Calcul du temps de bon fonctionnement souhaitable pour améliorer la fiabilité à 80%**

$$R(t) = 80\% \Rightarrow t = ? \quad R(t) = e^{\frac{-(t-\gamma)\beta}{\eta}} \quad \ln R(t) = -(t/\eta)\beta = \ln(0.8) \Leftrightarrow -[\ln R(t)]1/\beta = t/\eta \Rightarrow t = \eta[\ln(1/R(t))]1/\beta.$$

	2013	2014	2015	2016
Le temps calculé pour améliorer la fiabilité à 80%	67,6538677	81,1839011	71,8995985	56,4570202

**Tableau IV.23** Le temps de bon fonctionnement additionné pour améliorer la fiabilité à 80%.

Donc, le temps moyen souhaitable de quatre années pour améliorer la fiabilité à 80% est :

$$T_{moy} = \frac{67,6538677 + 81,1839011 + 71,8995985 + 56,4570202}{4} = 69,2985969 \text{ heures}$$

Pour évoluer la fiabilité de la central électrique (Msila 03) à 80%, il faut proposer un plan préventif systématique additionnel pour les éléments les plus défaillants, dans la suite on va utiliser la méthode ABC pour extraire ces éléments.

### IV.7.1. L'application Pratique des méthodes d'analyse

#### IV.7.1.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)»

L'objectif de la méthode ABC est de classer les défaillances et extraire les éléments les plus défaillants, le tableau IV.19 montre les données pour tracer la courbe ABC

#### IV.7.2. La courbe ABC

les éléments	Les heures Des panne	Les cumule des heures pannes	% cumule heures de panne	les fréquences des panne	Cumules de fréquence des panne	%Fréquence des panne
TURBO-COMP	1439,03	1439,03	47,97	2	2	1,63
COMBUSTIBLE	645,54	2084,57	69,48	21	23	18,70
Combustion	253,84	2338,41	77,94	9	32	26,02
Poste Gaz	235,97	2574,38	85,81	5	37	30,08
Alternateur	126,76	2701,14	90,03	20	57	46,34
SERVICE.AUX	123,75	2824,89	94,16	9	66	53,66
Auxiliaires groupe	79,58	2904,47	96,81	6	72	58,54
Syst de lancement	66,46	2970,93	99,03	47	119	96,75
Divers	20,3	2991,23	99,70	1	120	97,56
Excitatrice	5,81	2997,04	99,90	1	121	98,37
Circuit d'air comprimé	2,53	2999,57	99,98	1	122	99,19
Circuit d'huile	0,55	3000,12	100,00	1	123	100,00

**Tableau IV.24** les données pour tracer la courbe ABC

La Figure suivante montre la courbe ABC qui contient trois zones :

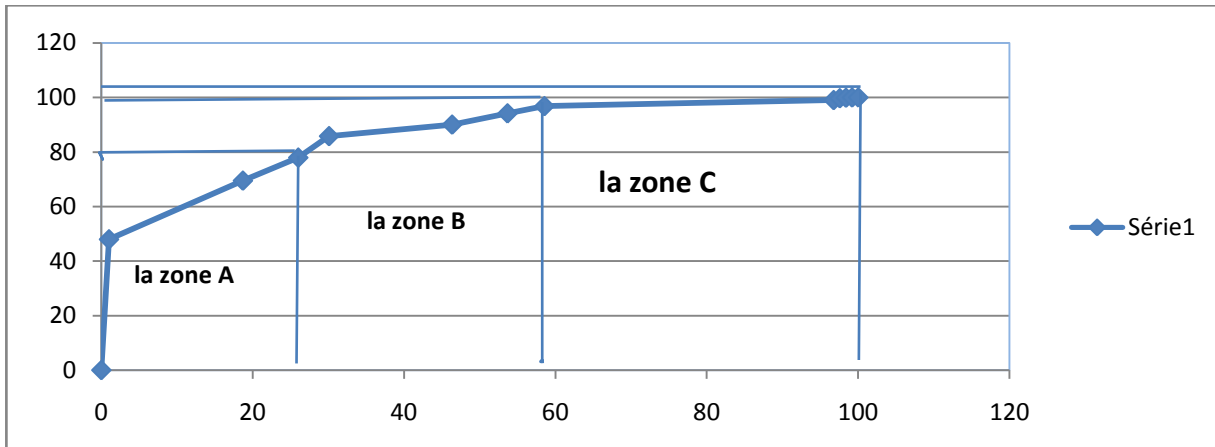


Figure IV:17 La courbe ABC

#### IV.7.2.1. Interprétation des résultats

- **Zone "A"** : on voit que d'après cette zone qu'environ de 26.02 % des pannes représente 77.94 % des heures d'arrêts, cette zone contient les éléments les plus défectueux (Turbocompresseur, et Combustible, chambre de combustion).
- **Zone "B"** : Dans cette zone, les 32.52% des pannes représentent 18.87% des heures d'arrêt de la station de production électrique, c'est une zone contient des éléments moins de temps d'arrêt par comparaison avec les éléments de la zone A (Alternateur, service auxiliaire, poste de gaz, auxiliaire de groupe).
- **Zone "C"** : Dans cette zone les 41.46% des pannes restantes ne représentent que de 3.19% des heures d'arrêts.

D'après la courbe ABC, on voit que les éléments les plus tombent en panne sont les éléments de la zone A tels que turbocompresseur, combustible et chambre de combustion. Pour améliorer la fiabilité de la société SPE, on va proposer des solutions concernant les éléments de la zone A et B comme illustré par le tableau suivant:

Les éléments	Les causes	les remèdes
turbocompresseur	-Démarrage raté	-Remplacer jointure de la chambre - Séquence à contrôler
	-Déclenchement par T°palier compresseur turbine haute HH	
	-Déclenchement à 97MW par défaut vanne Blow off 12MBA43AA051 extrait de l'étage 9 du compresseur	
	-Refus d'allumage	-Vérifier Thermocouple - Vérifier circuit de refroidissement -Fins de course de la vanne à régler
	-Refus de couplage	
	-Raté d'allumage	-Séquence à contrôler
	- Prolongation des travaux de l'inspection combustion et levée de réserves par le constructeur	-Enregistrer les défauts et saisir le constructeur
	-Déclenchement par humming et accélération	
	-Travaux non terminées (Inspection mineure )	
	-Défaut électrovanne de décharge	
	-Travaux non terminées (levée des réserves avec ANSALDO( mise en service au fuel ).	
	-Régime d'essai Après HGPI	

Les éléments	Les causes	les remèdes
COMBUSTION	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Déclenchement par Humming et accélération</li> <li>-Refus d'allumage</li> <li>-Raté d'allumage.</li> <li>-Dt en type C par vanne Blow off</li> <li>-Déclenchement à 461 tr/min par défaut flamme</li> <li>-Déclenchement à 2100 tr/mn par Humming et accélération</li> <li>-Déclenchement par protection Humming et accélération par le capteur d'accélération 12MBM10CY102</li> <li>-Déclenchement par baisse pression gaz</li> <li>-Changement Brûleur N° 09</li> <li>-Alarme détection gaz dans le décapotage TG</li> <li>-Déclenchement en type C par défaut flamme</li> <li>-Déclenchement par défaut flamme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivre l'évolution des températures combustion</li> <li>-Vérifier les fin de courses de la vanne</li> <li>-Réglage des détendeurs à contrôler</li> <li>-Vérifier présence gaz dans le compartiment TG</li> </ul>
Combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Déclenchement en type C par Humming et accélération.</li> <li>-Déclenchement par protection Humming /Accélération, suite à l'enregistrement du capteur d'accélération 12MBM10CY102 d'un pique de 11.96g.</li> <li>-Déclenchement par protection Humming /Accélération.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisir constructeur pour levée des réserves</li> </ul>
Poste Gaz	Déclenchement par basse pression gaz arrivée groupe	-Rétablir réglage détendeur au poste gaz
Alternateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Déclenchement par protection générateur</li> <li>-Déclenchement TG2 par haute température refroidissement générateur</li> <li>-Dt par protection générateur.</li> <li>-Dt par protection surcharge</li> <li>-09h20 / 10h56 DT par sur fréquence</li> <li>-DT à 140 MW et 03 MVAR par protection survitesse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier la protection</li> <li>-Vérifier circuit de refroidissement du générateur</li> </ul>
SERVICE.AUX	-Arrêt volontaire à 180MW Constatation d'un début de feu sur l'excitatrice	-Vérifier étanchéité (voir jointure si nécessaire)
Auxiliaires groupe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déclenchement par protection surcharge</li> <li>-défaut système air d'étanchéité de diffusion fuel</li> <li>Indisponibilité de la pompe à courant continue de soulèvement</li> <li>-prolongation des travaux (Lever des réserves par le constructeur Ansaldo</li> <li>-Travaux non terminées du Changement joint d'étanchéité radiateur transformateur afin d'éliminer la fuite d'huile</li> <li>Arrêt Gr suite au défaut virage hydraulique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opération urgente remettre en état la pompe de soulèvement</li> <li>-Enregistrer les réserves et saisir constructeur</li> <li>-Travaux à terminer pour disponibiliser le groupe</li> <li>-Remettre le virage en service (Urgent)</li> </ul>

**Tableau IV.25Préconésation des éléments les plus défailants de la courbe ABC**

## IV.8. Application de la maintenance préventive à la société de SONELGAZ

La société de production de l'électricité (SPE) filiale du groupe SONELGAZ depuis longtemps cherché à améliorer la fiabilité et la sûreté de ces installations de production, et, pour ce faire, a mis en œuvre des techniques de surveillances de ces équipements; surveillance vibratoire des turbo-alternateurs, surveillance des chaudières à flamme... Le lancement de nouvelles centrales électrique oblige SPE à étudiée et à développer des systèmes de surveillance pour la détection précoce des anomalies et l'aide du diagnostic des défauts des composants des centrales de production électrique.

Aujourd'hui, SPE utilise les principales techniques de surveillance existantes et applique ces techniques sur la plupart des matériels des centrales électriques. Le tableau IV.21 indique les techniques de surveillance utilisées pour les principaux composants.

	Détection de fuites	Surveillance vibratoire	Surveillance acoustique	Surveillance chimique	Mesures électriques	Thermographie infrarouge	L'aide au diagnostic
Circuit primaire	X	X	X				X
Turbo-compresseur		X	X		X	X	
Poste de gaze	X						
robinetterie	X			X			
turbines	X	X	X		X	X	X
Machines tournantes auxiliaires		X		X			X
Pompes primaires		X					X
Transformateurs			X	X			X
tuyauteries	X			X		X	
alternateurs		X					

**Tableau IV.26 Techniques de maintenance préventive proposées**

Mais dans les dernières années ; SONELGAZ exploite une nouvelle technique pour détecter les défaillances cette technique est l'inspection par boroscopie (ou inspection par vidéo scopie).

### L'inspection par boroscopie

Cette technique utilise une petite caméra fixée sur un appareil flexible servant à vérifier visuellement l'état des composantes et prendre des mesures dans les espaces restreints, par exemple, dans une pompe de remblai.

L'inspection par boroscopie peut être utile dans les situations suivantes :

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-Dépannage</li> <li>-Inspection de paliers lisses (Babbitt)</li> <li>-Inspection des mesures d'entrefer vitesse</li> <li>-Délais limités pour valider un diagnostic</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Inspection de l'endommagement du roulement</li> <li>- Aide à l'évaluation des dommages</li> <li>- Inspection des engrenages d'un réducteur de</li> <li>- Inspection en fin de garantie</li> </ul> |
|---|---|

➤ Exemple visite BOROSCOPIQUE d'une turbine à gaz :



Figure IV:18 Fissure axiale au niveau du bandage d'une aube (côté bords de fuite)



Figure IV:19 Surchauffe au niveau des extrémités des ailettes



Figure IV:21 Erosion sur le sommet (extrémité) d'une ailette

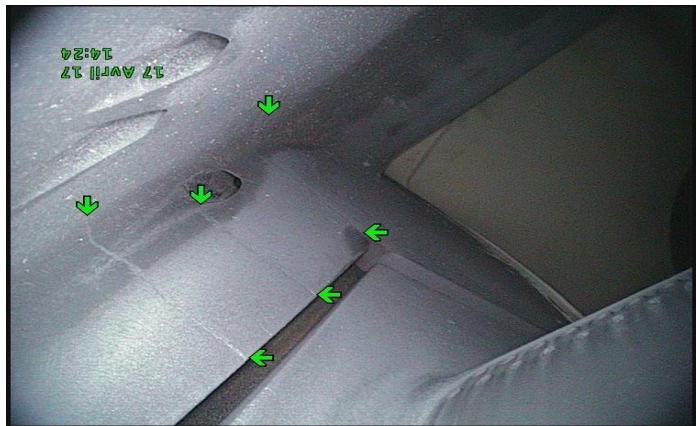


Figure IV:20 Fissure au niveau de l'interconnexion des segments d'aube

## IV.9. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons apporté l'historique de panne de quatre années (2013, 2014, 2015 et 216) grâce au stage qu'on a fait au sien de la station de production électrique de SONALGAZ. à partir de cet historique, on a calculé les temps de bon fonctionnement de la station à travers leurs conditions de fonctionnement. La fiabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la densité de probabilité, la maintenabilité et la disponibilité sont calculés à l'aide le logiciel Fiab-Optim, et les résultats obtenus ont montrés que la fiabilité de la station soit réduite et le temps de panne et le taux de défaillance soient croissants. Pour améliorer la fiabilité à une valeur souhaitée (80%), nous avons appliqué les opérations et les techniques de maintenance préventive pour minimiser le temps de panne et maximiser le temps de bon fonctionnement.

## V. Conclusion Général

La maintenance a pour but d'améliorer les performances et le niveau de sureté de fonctionnement des systèmes par la réduction du temps de panne et de temps de bon fonctionnement.

Dans notre travail, nous avons choisi la maintenance préventive comme une solution efficace pour améliorer la production du central électrique SPE (spa) et augmenter le profit économique à travers leurs opérations systématique (visite, inspection, contrôle, vérification...) et leurs techniques conditionnelle (analyse vibratoire, acoustique, analyse des huiles, thermographie, CND et BOROSCOPIQUE).

Nous avons fait un stage pratique au sien de la station de production électrique de M'sila, pour apporter son historique de panne de quatre ans (2013, 2014, 2015 et 2016), cet historique a permis d'évaluer le niveau de sureté de fonctionnement de cette entreprise. Nous avons extrait les temps de bon fonctionnement de station à partir de leurs conditions de fonctionnement et de l'historique de panne, ensuite; on a utilisé le logiciel Fiab-Optim pour calculer les paramètres du modèle Weibull, ces paramètres sont utilisés pour calculer la fonction de répartition réelle et on a comparé avec la fonction de répartition théorique. Le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV a effectué et a montré que le modèle de Weibull est acceptable à utiliser pour les quatre années (2013, 2014, 2015 et 2016).

Nous avons calculé la fonction de répartition, la densité de probabilité, le taux de défaillance et la fiabilité par l'utilisation des paramètres de Weibull pour chaque année et les résultats obtenus ont montrés que la fiabilité de station de production électrique soit réduite, c'est-à-dire le taux de défaillance soit croissant ainsi que le temps de panne soit plus grand par rapport au temps de bon fonctionnement, puis on a calculé et simulé la maintenabilité et la disponibilité de station pour les quatre ans. Pour améliorer la fiabilité à une valeur de 80%, nous avons proposé d'améliorer le temps de maintenance préventive systematique de station de production électrique par une valeur moyen pour les quatre années égale à 69.3 heures, cette amélioration est obtenue par la préconisation des solutions concernant les éléments les plus défaillants (on a utilisé la méthode de la courbe ABC pour extraire les éléments les plus tombent en panne) et d'appliquer les opérations et les techniques de maintenance préventive.

On a recommandé à la station de production électrique à exploiter la nouvelle technique l'inspection par boroscopie pour détecter les défaillances.

Dans les travaux futurs, nous allons améliorer le rendement de station de production électrique par la proposition d'une stratégie de maintenance efficace pour garantir la continuité de fonctionnement et avoir un diagnostic précoce dans le cas d'apparaitre d'un défaut.

## VI. Bibliographie

- [1]. Ahmad ALALI ALHOUAIJ « Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué », Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, Université de Grenoble, 2010.
- [2]. Houssam CHOUIKHI, « Optimisation des stratégies de maintenance verte pour les systèmes de production de biens et de services », Thèse de doctorat, l'Université de Lorraine, 2012, France.
- [3]. Mohamed CHAHIR FITOUHI « Optimisation de la planification intégrée de la maintenance préventive et de la production des systèmes multi-états », Thèse de doctorat, Université Laval, 2011
- [4]. Jean HENGE. « Pratique de maintenance préventive », livre, (dunod).
- [5]. TAWAFOQ ishaq « Extraction d'indicateurs robustes pour le diagnostic des défauts mécaniques : Comparaison de L'EMD et des ondelettes (WT) » mémoire de magister, université Ferhat Abbas – Sétif.
- [6]. Jérémy LAURENS « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique », thèse de doctorat université Joseph Fourier, Année 2011.
- [7]. ISET Nabeul, « cours Approche de la Maintenance Industrielle », 2013/2014.
- [8]. Omar DJEBILI ; « Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement ». Thèse de doctorat, Université De Reims Champagne Ardenne (2013).
- [9]. Bolaers F, Dron J.P, Rasolofondraibe L, « Prédiction et suivi de l'évolution d'un 134 écaillage de fatigue de roulement par analyse vibratoire ». XVIème Congrès Français de mécanique, Nice, (2003).
- [10]. Landolsi FOUED, « Cours De Techniques de Surveillance, Partie I Surveillance Des Machines Par Analyse Vibratoire ».
- [11]. M .T. Nabti, « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cestraux dans la détection des défauts mécaniques ». Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas Sétif (2011).
- { 12}. Abdallah KABOUCHE, « Techniques de Maintenance Prédictive pour l'Amélioration de la disponibilité des Installations ». DOCTORAT D'ETAT année 2013.
- [13]. KADI Mohammed / GANA Djamel Eddine « ETUDE ET AMELIORATION FMD D'UNE MOTOPOMPE CENTRIFUGE ». Mémoire master professionnelle. Université Kasdi Merbah – Ouargla. 08/06/2014.
- [14]. Michel DEMERS « développement d'une méthodologie d'optimisation de la maintenance par la fiabilité pour les systèmes complexes : Application à un groupe électrogène diesel de secours » université du Québec, aout 1998.
- [15]. Techniques D'ingénieur (T 4 300-30) Fiabilité. Maintenabilité

## Bibliographie

- [16]. Abdelhadi BENKHELIFA "Fiabilité Des Equipements De D.T.M., Analyse Fonctionnelle Et Implications Organisationnelles De La Fonction Maintenance De Transport" Mémoire De Master, Université D'Ouargla 2011.
- [17]. "Pr. Ahmed BELLAOUAR" «FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE », livre FMD,24/12/2013.
- [18]. "Turbine à vapeur et à gaz". Lucien Vivier- Edition Albin Michel (1965).
- [19]. "Turbine à gaz ". Tome 1 et 2-J.E. Lamy- Institut français du pétrole (1958).
- [20]. HATHAT Abdelkader et DEBLAOUI Hicham « Etude analytique FMD d'une turbine DR990» Mémoire MASTER PROFESSIONNEL.2015.
- [21]. BEN DJAAFER AHMED, «Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique», mémoire de fin d'étude, 2012 / 2013
- [22]. Nader BEN SALEM « Lubrification et Graissage », livre, 2011

## Annexe

Annexe 01 : Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,180}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

## Annexe 02

## Tableau Historique de panne de central production électrique 2013

N°	N°Gr			HEURES INDISPO.	TBF	ENERGIE PERDUE (MWh)	CAUSE
		DEBUT	FIN				
1	1	20/01/2013 16:00:00	20/01/2013 17:55:00	1,92	472	412,08	TURBO-COMP
2	1	11/02/2013 11:45:00	11/02/2013 12:15:00	0,50	521,83	107,50	COMBUSTIBLE
3	1	01/05/2013 20:43:00	01/05/2013 21:26:00	0,72	1904,47	154,08	Combust
4	1	18/05/2013 15:38:00	18/05/2013 16:45:00	1,12	402,20	240,08	Combust
5	1	03/06/2013 20:35:00	03/06/2013 20:53:00	0,30	387,83	64,50	Combust
6	1	05/06/2013 18:57:00	05/06/2013 19:30:00	0,55	46,07	118,25	Poste Gaz
7	1	09/06/2013 21:09:00	09/06/2013 21:44:00	0,58	97,65	125,42	Combust
8	1	13/06/2013 13:23:00	13/06/2013 13:58:00	0,58	87,65	125,42	Combust
9	1	15/06/2013 08:37:00	15/06/2013 09:10:00	0,55	42,65	118,25	Combust
10	1	12/07/2013 09:27:00	12/07/2013 09:42:00	0,25	648,28	53,75	TURBO-COMP
11	1	12/07/2013 09:42:00	12/07/2013 13:56:00	4,23	0,00	910,17	TURBO-COMP
12	1	26/08/2013 05:14:00	27/08/2013 16:30:00	35,27	1071,30	7582,33	Turbocompr
13	1	24/09/2013 13:20:00	24/09/2013 13:58:00	0,63	668,83	136,17	Combust
14	1	25/09/2013 18:58:00	25/09/2013 19:29:00	0,52	29,00	111,08	Combust
15	1	26/09/2013 19:34:00	26/09/2013 19:50:00	0,27	24,08	57,33	Combust
16	1	04/10/2013 19:23:00	04/10/2013 19:58:00	0,58	191,55	125,42	Combust
17	1	11/10/2013 18:00:00	11/10/2013 21:07:00	3,12	166,03	670,08	Combust
18	1	24/10/2013 19:04:00	26/10/2013 12:00:00	40,93	309,95	8800,67	Alternateur
19	1	06/12/2013 17:43:00	06/12/2013 18:04:00	0,35	989,72	75,25	Combust
20	1	06/12/2013 18:04:00	06/12/2013 19:00:00	0,93	605,00	200,67	Combust
21	2	01/02/2013 18:20:00	02/02/2013 19:00:00	24,67	762,33	5303,33	TURBO-COMP
22	2	03/02/2013 12:34:51	03/02/2013 12:54:00	0,32	17,58	68,62	TURBO-COMP
23	2	28/02/2013 19:23:00	29/04/2013 16:00:00	1436,62	606,48	308872,58	SERVICE.AUX
24	2	09/05/2013 07:25:00	09/05/2013 09:00:00	1,58	231,42	340,42	Combust
25	2	09/05/2013 19:09:00	09/05/2013 20:27:00	1,30	10,15	279,50	Combust
26	2	14/06/2013 19:40:00	15/06/2013 15:44:00	20,07	863,22	4314,33	Auxiliaires groupe Combust
27	2	19/06/2013 08:55:00	19/06/2013 09:21:00	0,43	89,18	93,17	Combust
28	2	08/07/2013 19:56:00	08/07/2013 20:21:00	0,42	466,58	89,58	TURBO-COMP
29	2	08/07/2013 20:21:00	08/07/2013 20:55:00	0,57	0,00	121,83	COMBUSTIBLE
30	2	08/07/2013 20:55:00	08/07/2013 22:18:00	1,38	0,00	297,42	COMBUSTIBLE
31	2	09/07/2013 18:00:00	09/07/2013 20:48:00	2,80	19,70	602,00	COMBUSTIBLE
32	2	10/07/2013 20:43:00	10/07/2013 21:00:00	0,28	23,92	60,92	COMBUSTIBLE
33	2	12/07/2013 09:57:00	15/07/2013 12:00:00	74,05	36,95	15920,75	COMBUSTIBLE
34	2	15/07/2013 12:00:00	15/07/2013 14:25:00	2,42	0,00	519,58	SERVICE.AUX
35	2	06/08/2013 15:09:00	06/08/2013 16:06:00	0,95	528,73	204,25	Combust
36	2	22/08/2013 07:57:00	22/08/2013 08:27:00	0,50	375,85	107,50	Alternateur
37	2	18/11/2013 05:47:00	18/11/2013 06:07:00	0,33	2109,33	71,67	Combust
38	2	18/11/2013 06:07:00	18/11/2013 08:19:00	2,20	0,00	473,00	Combust
39	2	29/11/2013 16:56:00	30/11/2013 00:00:00	19,07	272,62	4099,33	Turbocompr

## Tableau Historique de panne de central production électrique 2014

10	N°Gr	DATE ET HEURE		HEURES INDISPO.	TBF	ENERGIE PERDUE (MWh)	CAUSE
		DEBUT	FIN				
1	1	16/03/2014 19:32:00	16/03/2014 20:11:00	0,65	2400,53	139,75	Combust
2	1	26/03/2014 05:48:00	26/03/2014 06:11:00	0,38	225,62	82,42	Combust
3	1	02/04/2014 19:00:00	03/04/2014 00:00:00	5,00	180,82	1075,00	Auxiliaires groupe
4	1	06/04/2014 06:29:00	06/04/2014 15:30:00	9,02	78,48	1938,58	Auxiliaires groupe
5	1	09/04/2014 16:30:00	09/04/2014 20:00:00	3,50	73,00	752,50	Auxiliaires groupe
6	1	27/04/2014 16:30:00	<b>28/04/2014 18:25:00</b>	25,92	428,50	5572,08	Turbocompr
7	1	20/05/2014 16:30:00	20/05/2014 17:22:00	0,87	526,08	186,33	Auxiliaires groupe
8	1	24/05/2014 16:00:00	27/05/2014 00:00:00	56,00	94,63	12040	Syst de lancement
9	1	01/06/2014 08:12:00	01/06/2014 08:37:00	0,42	128,20	89,58	Turbocompr
10	1	11/06/2014 00:00:00	11/06/2014 22:00:00	22,00	231,38	4730,00	Syst de lancement
11	1	22/06/2014 13:02:00	22/06/2014 13:20:00	0,30	255,03	64,50	Combust
12	1	10/08/2014 13:43:00	10/08/2014 15:29:00	1,77	1176,38	379,83	Combust
13	1	19/08/2014 12:40:00	19/08/2014 13:15:00	0,58	213,18	125,42	Combust
14	1	06/09/2014 02:30:00	07/09/2014 07:17:00	28,78	421,25	6188,42	Auxiliaires groupe
15	1	14/09/2014 13:59:00	14/09/2014 15:19:00	1,33	174,70	286,67	Auxiliaires groupe
16	1	27/10/2014 05:33:00	27/10/2014 07:46:00	2,22	1022,23	476,58	Auxiliaires groupe
17	1	06/11/2014 01:00:00	<b>09/11/2014 00:00:00</b>	71,00	233,23	15265	Syst de lancement
18	1	09/11/2014 08:00:00	<b>13/11/2014 15:10:00</b>	103,17	8,00	22180,83	Syst de lancement
19	1	<b>12/12/2014 02:27:00</b>	<b>12/12/2014 06:27:00</b>	4,00	683,28	860,00	Auxiliaires groupe
20	1	28/12/2014 08:24:00	28/12/2014 09:48:00	1,40	385,95	301,00	Divers
21	1	29/12/2014 04:00:00	<b>31/12/2014 12:00:00</b>	56,00	18,20	12040	Divers
22	2	17/01/2014 17:11:00	17/01/2014 20:00:00	2,82	606,95	605,58	Turbocompr
23	2	20/02/2014 19:20:00	20/02/2014 19:50:00	0,50	815,33	107,50	Turbocompr
24	2	27/02/2014 17:57:00	27/02/2014 18:13:00	0,27	166,12	57,33	Combust
25	2	09/04/2014 16:30:00	09/04/2014 20:00:00	3,50	982,28	752,50	Auxiliaires groupe
26	2	27/04/2014 08:52:00	<b>27/04/2014 09:27:00</b>	0,58	420,87	125,42	Divers
27	2	02/05/2014 18:23:00	02/05/2014 18:51:00	0,47	128,93	100,33	Turbocompr
28	2	07/07/2014 20:51:00	07/07/2014 21:44:00	0,88	1586,00	189,92	Auxiliaires groupe
29	2	14/07/2014 12:00:00	15/07/2014 08:18:00	20,30	158,27	4364,50	Excitatrice
30	2	<b>19/11/2014 16:30:00</b>	<b>24/11/2014 18:00:00</b>	121,50	3056,20	26122,50	Turbocompr
31	2	25/11/2014 16:32:00	25/11/2014 17:07:00	0,58	22,53	125,42	Combust

**Tableau Historique de panne de central production électrique 2014**

N°	N°Gr	DATE ET HEURE		HEURES INDISPO.	TBF	ENERGIE PERDUE (MWh)	CAUSE
		DEBUT	FIN				
1	1	03/01/2015 16:20:00	03/01/2015 16:47:00	0,45	76,33	96,75	Auxiliaires groupe
2	1	10/01/2015 06:00:00	10/01/2015 06:25:00	0,42	157,22	89,58	Auxiliaires groupe
3	1	15/01/2015 05:49:00	15/01/2015 06:38:00	0,82	119,40	175,58	Auxiliaires groupe
4	1	21/01/2015 16:30:00	22/01/2015 22:00:00	29,50	153,87	6342,50	Combust
5	1	11/02/2015 16:17:00	12/02/2015 17:40:00	25,38	474,28	5457,42	Alternateur
6	1	16/03/2015 00:47:00	16/03/2015 04:53:00	4,10	751,12	881,50	Turbocompr
7	1	29/06/2015 20:00:00	01/07/2015 00:00:00	28,00	2535,12	6020,00	Auxiliaires groupe
8	1	01/07/2015 00:00:00	01/07/2015 09:25:00	9,42	0,00	2024,58	Auxiliaires groupe
9	1	05/07/2015 08:08:00	05/07/2015 09:08:00	1,00	94,72	215,00	Auxiliaires groupe
10	1	04/10/2015 18:08:00	04/10/2015 18:35:00	0,45	2193,00	96,75	Combust
11	1	19/12/2015 19:28:00	19/12/2015 19:35:00	0,12	1824,88	25,08	Combust
12	1	28/12/2015 13:38:00	29/12/2015 17:52:00	28,23	210,05	6070,17	Alternateur
13	2	06/01/2015 14:55:00	06/01/2015 15:17:00	0,37	1005,80	78,83	Combust
14	2	04/02/2015 06:28:00	04/02/2015 10:03:00	3,58	687,18	770,42	Auxiliaires groupe
15	2	09/02/2015 13:12:00	09/02/2015 13:54:00	0,70	123,15	150,50	Combust
16	2	10/02/2015 14:15:00	10/02/2015 14:49:00	0,57	24,35	121,83	Combust
17	2	14/02/2015 19:48:00	14/02/2015 20:05:00	0,28	100,98	60,92	Combust
18	2	18/02/2015 11:14:00	18/02/2015 11:56:00	0,70	87,15	150,50	Combust
19	2	08/04/2015 16:30:00	23/04/2015 16:30:00	360,00	1180,57	77400,00	Turbocompr
20	2	18/05/2015 12:44:00	18/05/2015 14:07:00	1,38	596,23	297,42	Combust
21	2	23/05/2015 08:30:00	23/05/2015 12:30:00	4,00	114,38	860,00	Combust
22	2	23/05/2015 15:41:00	23/05/2015 16:19:00	0,63	3,18	136,17	Combust
23	2	06/06/2015 12:54:00	07/06/2015 11:32:00	22,63	332,58	4866,17	Divers
24	2	19/07/2015 10:27:00	19/07/2015 11:43:00	1,27	1006,92	272,33	Auxiliaires groupe
25	2	01/10/2015 09:31:00	01/10/2015 10:01:00	0,50	1773,80	107,50	Combust
26	2	01/10/2015 10:01:00	01/10/2015 10:50:00	1,25	0,00	268,75	Combust
27	2	03/10/2015 18:10:00	03/10/2015 19:25:00	0,82	55,33	175,58	Combust
28	2	22/10/2015 14:37:00	22/10/2015 17:09:00	2,53	451,20	544,67	Circuit d'air comprimé
29	2	22/10/2015 17:09:00	26/10/2015 10:20:00	89,18	0,00	19174,42	Divers
30	2	08/11/2015 22:00:00	09/11/2015 12:00:00	14,00	323,67	3010,00	Divers

**Tableau historique de panne de central production électrique 2016**

N°	N°Gr	DATE ET HEURE		HEURES INDISPO.	TBF	ENERGIE PERDUE (MWh)	CAUSE
		DEBUT	FIN				
1	1	03/01/2015 16:20:00	03/01/2015 16:47:00	0,45	76,33	96,75	Auxiliaires groupe
2	1	10/01/2015 06:00:00	10/01/2015 06:25:00	0,42	157,22	89,58	Auxiliaires groupe
3	1	15/01/2015 05:49:00	15/01/2015 06:38:00	0,82	119,40	175,58	Auxiliaires groupe
4	1	21/01/2015 16:30:00	22/01/2015 22:00:00	29,50	153,87	6342,50	Combust
5	1	11/02/2015 16:17:00	12/02/2015 17:40:00	25,38	474,28	5457,42	Alternateur
6	1	16/03/2015 00:47:00	16/03/2015 04:53:00	4,10	751,12	881,50	Turbocompr
7	1	29/06/2015 20:00:00	01/07/2015 00:00:00	28,00	2535,12	6020,00	Auxiliaires groupe
8	1	01/07/2015 00:00:00	01/07/2015 09:25:00	9,42	0,00	2024,58	Auxiliaires groupe
9	1	05/07/2015 08:08:00	05/07/2015 09:08:00	1,00	94,72	215,00	Auxiliaires groupe
10	1	04/10/2015 18:08:00	04/10/2015 18:35:00	0,45	2193,00	96,75	Combust
11	1	19/12/2015 19:28:00	19/12/2015 19:35:00	0,12	1824,88	25,08	Combust
12	1	28/12/2015 13:38:00	29/12/2015 17:52:00	28,23	210,05	6070,17	Alternateur
13	2	06/01/2015 14:55:00	06/01/2015 15:17:00	0,37	1005,80	78,83	Combust
14	2	04/02/2015 06:28:00	04/02/2015 10:03:00	3,58	687,18	770,42	Auxiliaires groupe
15	2	09/02/2015 13:12:00	09/02/2015 13:54:00	0,70	123,15	150,50	Combust
16	2	10/02/2015 14:15:00	10/02/2015 14:49:00	0,57	24,35	121,83	Combust
17	2	14/02/2015 19:48:00	14/02/2015 20:05:00	0,28	100,98	60,92	Combust
18	2	18/02/2015 11:14:00	18/02/2015 11:56:00	0,70	87,15	150,50	Combust
19	2	08/04/2015 16:30:00	23/04/2015 16:30:00	360,00	1180,57	77400,00	Turbocompr
20	2	18/05/2015 12:44:00	18/05/2015 14:07:00	1,38	596,23	297,42	Combust
21	2	23/05/2015 08:30:00	23/05/2015 12:30:00	4,00	114,38	860,00	Combust
22	2	23/05/2015 15:41:00	23/05/2015 16:19:00	0,63	3,18	136,17	Combust
23	2	06/06/2015 12:54:00	07/06/2015 11:32:00	22,63	332,58	4866,17	Divers
24	2	19/07/2015 10:27:00	19/07/2015 11:43:00	1,27	1006,92	272,33	Auxiliaires groupe
25	2	01/10/2015 09:31:00	01/10/2015 10:01:00	0,50	1773,80	107,50	Combust
26	2	01/10/2015 10:01:00	01/10/2015 10:50:00	1,25	0,00	268,75	Combust
27	2	03/10/2015 18:10:00	03/10/2015 19:25:00	0,82	55,33	175,58	Combust
28	2	22/10/2015 14:37:00	22/10/2015 17:09:00	2,53	451,20	544,67	Circuit d'air comprimé
29	2	22/10/2015 17:09:00	26/10/2015 10:20:00	89,18	0,00	19174,42	Divers
30	2	08/11/2015 22:00:00	09/11/2015 12:00:00	14,00	323,67	3010,00	Divers

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

**SPECIALITE : maintenance industrielle**

**Proposé et dirigé par :Dr. GHEMARI zine**

**Présenté par :Mrs. DIF zakarya et ADJISSI mehdi**

**Thème :**

**Amélioration de la production d'un système par  
l'application de la maintenance préventive**

**Résumé :**

Dans ce travail, on va appliquer une stratégie de maintenance efficace d'un système électromécanique basée sur la maintenance préventive pour progresser le niveau de la sureté de fonctionnement d'un système électromécanique.

Cette progression nous va permettre d'améliorer les paramètres suivant :Fiabilité, maintenabilité, et disponibilité d'une part et l'amélioration de la production de notre système choisi à partir la minimisation du temps de panne d'une autre part.

في هذا العمل ,نقوم بتطبيق إستراتيجية الصيانة الفعالة داخل النظام كهروميكانيكي الذي يعتمد على الصيانة الوقائية بهدف تطوير مستوى سلامة الوظيفة للنظام كهروميكانيكي .

هذا التقديم يسمح لنا بتحسين المعايير التالية :

الصلاحية والصيانة ووفرة من جهة وتحسين الإنتاج للنظام الذي نريد اختياره إبتداءا من تقليل مدة الأعطال من جهة أخرى

**Mots clés :**

Maintenance, fiabilité, disponibilité, sureté, stratégie.