

Université du 8 MAI 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER Académique

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité/Option : Construction Mécanique

Par : AOUASSA Hatem

Thème

**Optimisation de la sûreté de fonctionnement d'une
turbine à vapeur**

Soutenu le : 19/06/2022, devant le jury composé de :

M ^r KHAROUBI Mounir	MCB	Univ. Guelma	Président
M ^r FRIHI Djamel	MCA	Univ. Guelma	Encadreur
M ^r DJEBALA Abderrazek	Professeur	Univ. Guelma	Examinateur
M ^{me} GHERIB Samia	MCB	Univ. Guelma	Examinateur

Année universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Louange à Allah ; le tout puissant et le très miséricordieux, pour nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mon cher encadrant Monsieur Djamel FRIHI ; pour le temps qu'il m'a consacré, les informations précieuses qu'il m'a prodiguées avec intérêt et compréhension et ses nombreux conseils qui m'a aidés à franchir les diverses difficultés rencontrées le long de la préparation de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également à monsieur Rabah OURFELLAH et monsieur ZAMITI Salah, pour leurs précieuse aide et accompagnement durant la réalisation du travail.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

DEDICACE

El hamdo li ALLAH qui m'a donné la volonté, le courage,

Pour le parachèvement de ce travail.

C'est avec une grande joie et un immense plaisir que je dédie ce

Modeste travail qui est le fruit de plusieurs années d'étude aux être les plus chers :

Mon père, Ma Chère Mère, Ma sœur,

Pour leurs amours, soutien et énorme sacrifice,

Que Dieu les protège.

Mes amis,

Dieu les bénisse tous.

RESUME

L'étude faite, dans ce mémoire, s'articule essentiellement sur une étude de fiabilité d'une installation stratégique, il s'agit d'une turbine à vapeur de la raffinerie du sucre (Ex ENASUCRE de Guelma).

Afin de mieux situer le rôle du service maintenance, nous avons préféré entamer notre travail par une étude critique de la politique de maintenance touchant les points faibles de ce service pour lequel des propositions d'amélioration ont été suggérées et cela par l'emploi du questionnaire de LAVINA.

L'exploitation de l'historique de pannes, de la turbine à vapeur, fourni par le service maintenance, nous a permis de faire deux études complémentaires à savoir qualitative et quantitative.

Du point de vue quantitatif et par application de la méthode ABC de Pareto ainsi que la détermination des paramètres du modèle de Weibull, nous avons pu connaître la phase de vie de notre machine ainsi que les éléments pour lesquels les agents de maintenance doivent donner plus d'importance.

Etant donné que la turbine à vapeur est en phase de vieillesse ; et pour pouvoir réduire le taux de défaillances, dont l'augmentation avec l'âge n'est pas toujours une chose fatale, nous avons fait une étude qualitative de la turbine par le biais d'une technique de prévention des défaillances connue par analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Cette méthode précieuse nous a aidé à identifier les modes de défaillances des principaux organes de la turbine (arbre, pompe alimentaire, clapet de sécurité, roue à aubes, bagues d'étanchéité et différents paliers...etc) tout en évaluant leur criticité sur la sûreté de fonctionnement.

Mots clés :

Maintenance, Fiabilité (FMD), Taux de défaillance, Taux de réparation, Disponibilité, Audit Lavina, Etude quantitative, Weibull, Etude qualitative, AMDEC, ABC Pareto,

ملخص :

تستند الدراسة التي أجريت في هذا الموجز بشكل أساسي إلى دراسة موثوقية مصنع استراتيجي، وهو توربين بخاري من مصفاة السكر (ex ENASUCRE de Guelma).

من أجل تحديد موقع دور إدارة الصيانة بشكل أفضل، فضلنا أن نبدأ عملنا بدراسة نقدية لسياسة الصيانة التي تؤثر على نقاط الضعف في هذه الخدمة والتي تم اقتراح مقترحات لتحسينها وهذا باستخدام استبيان LAVINA.

سمح لنا استغلال تاريخ الأعطال، والتوربينات البخارية، التي قدمتها إدارة الصيانة، بإجراء دراستين تكمليتين: نوعية وكمية. من وجهة النظر الكمية ومن خلال تطبيق طريقة Pareto ABC بالإضافة إلى تحديد معايير نموذج Weibull، تمكنا من معرفة مرحلة عمر جهازنا بالإضافة إلى العناصر التي يجب أن تعطىها عوامل الصيانة أهمية أكبر.

بما أن التوربين البخاري في مرحلة الشيخوخة ؛ ولكي نتمكن من تقليل معدل الإخفاقات، فإن الزيادة مع تقدم العمر ليست دائمًا أمرًا قاتلاً، فقد أجرينا دراسة نوعية للتوربين عن طريق تقنية منع الفشل المعروفة عن طريق تحليل أنماط الفشل وأثارها وحركتها (AMDEC).

ساعدتنا هذه الطريقة القيمة في تحديد أنماط الفشل للمكونات الرئيسية للتوربين (العمود، مضخة الطعام، صمام الأمان، الدافع، حلقات الإغلاق والمحامل المختلفة، إلخ) مع تقييم أهميتها على سلامة التشغيل.

الكلمات الرئيسية :

الصيانة، الموثوقية (FMD)، معدل الفشل، معدل الإصلاح، التوافر، التدقيق في LAVINA، الدراسة الكمية، Weibull، الدراسة النوعية، AMDEC، ABC Pareto.

SUMMARY

The study carried out in this brief is essentially based on a study of the reliability of a strategic installation, a steam turbine from the sugar refinery (ex ENASUCRE de Guelma).

In order to better situate the role of the maintenance department, we preferred to begin our work by a critical study of the maintenance policy affecting the weak points of this service for which proposals for improvement have been suggested and this by the use of the questionnaire of LAVINA.

The exploitation of the history of breakdowns, of the steam turbine, provided by the maintenance department, allowed us to make two complementary studies: qualitative and quantitative.

From the quantitative point of view and by application of the Pareto ABC method as well as the determination of the parameters of the Weibull model, we were able to know the life phase of our machine as well as the elements for which the maintenance agents must give more importance.

Since the steam turbine is in the old age phase; and in order to be able to reduce the rate of failures, the increase with age is not always a fatal thing, we have made a qualitative study of the turbine by means of a known failure prevention technique by analysis of the Failure Modes, their Effects and their Criticality (AFMEC).

This valuable method helped us to identify the failure modes of the main components of the turbine (shaft, food pump, safety valve, impeller, sealing rings and various bearings, etc.) while assessing their criticality on the safety of operation.

Keywords:

Maintenance, Reliability (FMD), Failure rate, Repair rate, Availability, Audit Lavina, Quantitative study, Weibull, Qualitative study, AMDEC, ABC Pareto.

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure I.1 : Temps de maintenance.	12
Figure I.2 : Classification des types de la maintenance.	13
Figure I.3 : Défaillances et frottements des aubes de turbine à vapeur.	20
Figure I.4 : Détection des éventuels écarts.	21
Figure I.5 : Résultat en graph de la méthode de lavina.	25
Figure II.1 : Turbine de Laval (1883).	31
Figure II.2 : Schéma d'une turbine à réaction.	32
Figure II.3 : Schéma d'une turbine à vapeur.	34
Figure II.4 : Cycle turbomoteur.	36
Figure II.5 : La turbine, le réducteur, l'alternateur.	41
Figure II.6 : Dessin d'ensemble en coupe de la turbine à vapeur.	43
Figure III.1 : Evolution des coûts en fonction de l'augmentation de la fiabilité.	52
Figure III.2 : Courbe en baignoire.	53
Figure III.3 : Histogramme des MTBF en fonction du temps (périodes).	58
Figure III.4 : Histogramme des taux de défaillance.	60

Figure III.5 : Papier de Weibull et les différents paramètres du modèle appliqué sur la turbine à vapeur.	62
Figure III.6 : Fonction de fiabilité $R(t)$.	63
Figure III.7 : Fonction de défaillance $F(t)$.	64
Figure III.8 : Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	65
Figure III.9 : Le taux de défaillance $\lambda(t)$.	66
Figure III.10 : Histogramme des MTTRi.	68
Figure III.11 : Histogramme des taux de réparation.	70
Figure III.12 : Histogramme des disponibilités.	72
Figure III.13 : courbe ABC de Pareto.	73
Figure III.14 : Diagramme ABC 'par type de panne.	77
Figure III.15 : Diagramme ABC des Pannes hydrauliques.	78
Figure IV.1: Décomposition fonctionnelle du système.	83
Figure IV.2: Décomposition structurelle du système.	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau I.1 : Exemple d'une grille du questionnaire de LAVINA avec notation	23
Tableau I.2 : Résultats du questionnaire de LAVINA	24
Tableau.1.3 : Propositions d'améliorations	26
Tableau II.1 : Caractéristique de la turbine a vapeur.	41
Tableau II.2 : Autres caractéristique.	41
Tableau II.3 : Déchiffre de schéma technique de la turbine à vapeur.	44
Tableau II.4 : Historique des pannes de la turbine a vapeur (ENASUCRE Guelma)	46
Tableau III.1 : les temps de bon fonctionnement.	57
Tableau III.2 : moyennes des temps de bon fonctionnement.	57
Tableau III.3 : taux de défaillance ($M\lambda_i$).	59
Tableau III.4 : les temps technique de réparation (TTR).	67
Tableau III.5 : Moyennes des temps technique de réparation (MTTR).	67
Tableau III.6 : Les taux de réparation (μ_i).	69
Tableau III.7 : Les disponibilités (D).	71
Tableau III.8 : La méthode Pareto Turbine (Temps d'arrêt)	75
Tableau III.9 : La méthode Pareto Turbine (les pannes)	75
Tableau III.10 : Les nombres des pannes et d'heurs d'arrêt.	76
Tableau III.11 : Les données de la méthode Pareto.	76
Tableau III.12 : Les données de l'analyse des pannes hydrauliques.	78
Tableau III.13 : Les données de méthode Pareto des pannes hydrauliques.	78
Tableau IV.1 : Analyse de générateur de vapeur par la méthode AMDEC.	85

Tableau IV.2 : Analyse des actionneurs et packages du turbine par la méthode AMDEC	86
Tableau IV.3 : Analyse des circuits de fonctionnement par la méthode AMDEC	86
Tableau IV.4 : Analyse d'alternateur et l'accouplement par la méthode AMDEC.	87
Tableau IV.5 : Analyse des modes de défaillances, de leur Effets et de leurs Criticité.	88
Tableau IV.6 : Evaluation de la criticité de la turbine a vapeur.	91
Tableau IV.7 : Programme de maintenance de la turbine a vapeur.	92

LISTE DES ABREVIATIONS

$F(t)$: Fonction de Réparation [%]

$f(t)$: La densité de probabilité de défaillance [%]

$M(t)$: Maintenabilité

MTBF : Moyenne des Temps entre Défaillances (Mean Time Between Failure)

MTTR : Moyenne des Temps de Réparation (Mean Time To Repair)

MUT : Moyenne des Temps de Disponibilité (Mean Up Time)

N : Taille de l'Echantillon

n : Nombre d'Eléments à l'Instant

$R(t)$: Fiabilité au Temps [%]

TBF : Temps de Bon Fonctionnement

t : L'instant (t)

β (Béta) : Paramètre de Forme de la Loi de Weibull

η (Eta) : Paramètre d'Echelle de la Loi de Weibull [h]

λ (Lambda) : Taux de Défaillance [Nbr/h]

γ (Gamma) : Paramètres de Localisation de la Loi de Weibull [h]

h :enthalpie massique.

W : travail utile par unité de masse (travail autre que le travail des forces de pression)

q : transfert thermique par unité de masse

T : température extérieur (à la surface de l'organe)

SOMMAIRE

RESUME	
SUMMARY	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES ABREVIATIONS.....	
INTRODUCTION GENERAL	8
CHAPITRE I: DIAGNOSTIC DE LA FONCTION MAINTENANCE	10
I.1. INTRODUCTION.....	11
I.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE	11
I.3. LES ACTIVITES DE LA MAINTENANCE (NORME NF)	11
I.4. LES TEMPS DE LA MAINTENANCE	12
I.5. LES TYPES DE MAINTENANCE.....	13
I.6. OPERATIONS DE MAINTENANCE	14
I.6.1 OPERATIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE	14
I.6.1.1 LA LOCALISATION DE DEFAILLANCE	14
I.6.1.2 LA REMISE EN ETAT.....	15
I.6.1.3 LA DURABILITE.....	16
I.6.2 OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE.....	17
I.6.2.1 L'ENTRETIEN	17
I.6.2.2 LA SURVEILLANCE.....	17
I.6.2.3 LA REVISION.....	18
I.6.2.4 LA PRESERVATION.....	18
I.7. IMPORTANCE DE LA MAINTENANCE ET TYPES D'ENTREPRISE	18
I.8.LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE	19
I.9. MAINTENANCE DE LA TURBINE A VAPEUR.....	19
I.10. DIAGNOSTIC DE LA FONCTION MAINTENANCE PAR LA DEMARCHE LAVINA.....	20
I.10.1. INTRODUCTION.....	20
I.10.2. PRESENTATION DE LA DEMARCHE LAVINA.....	21
I.10.3. LE DEROULEMENT DU DIAGNOSTIC	22
I.10.4. RESULTATS DU DIAGNOSTIC	24

I.10.5 ANALYSE DES RESULTATS	25
I.11. CONCLUSION	26
CHAPITRE II : TURBINE A VAPEUR (STEAM TURBINE)	28
II.1. INTRODUCTION	29
II.2. HISTORIQUE DES MACHINE A VAPEUR	29
II.3.PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DE LA TURBINE A VAPEUR.....	30
II.3.1.REALISATION PRATIQUE DE FONCTIONNEMENT.....	30
II.3.2.LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DES TURBINES A VAPEUR.....	33
II.4. LA THERMODYNAMIQUE DES MACHINE A VAPEUR	35
II.5.CARACTERISTIQUES DES TURBINE A VAPEUR.....	37
II.5.1. TAILLE DES COMPOSANTS	37
II.5.2. ÉTAGES SPECIFIQUES	37
II.6. APPLICATIONS	38
II.7. GENERALITES PRINCIPAUX D'UNE CENTRALE ELECTRIQUE.....	38
II.8. PRESENTATION DE LA TURBINE A VAPEUR DE L'ENASUCRE	39
II.8.1.CARACTERISTIQUE DE LA TURBINE A VAPEUR	41
II.8.2.EXPLOITATION DE L'HISTORIQUE.....	46
II.9. CONCLUSION.....	47
CHAPITRE III:ETUDE STATISTIQUE DE L'HISTORIQUE DES PANNES DE LA TURBINE A VAPEUR	48
III.1. INTRODUCTION.....	49
III.2. GENERALITES	49
III.2.1. RELATION ENTRE LES DEFERENTS PARAMETRES DE LA FMD	49
III.2.2. NOTIONS DE FIABILITE.....	50
III.2.2.1. GENERALITES	50
III.2.2.2. DEFINITIONS	51
III.2.3. MAINTENABILITE ET MAINTENANCE.....	53
III.2.3.1. DEFINITIONS	53
III.2.4. DISPONIBILITE.....	54
III.2.4.1. DEFINITIONS	54
III.3.APPLICATION DE L'ANALYSE FMD POUR L'ETUDE DU COMPORTEMENT DE LA TURBINE A VAPEUR.....	55

III.3.1. ETUDE DE FIABILITE	55
III.3.2. ETUDE DE MAINTENABILITE	66
III.3.3 : INTRODUCTION POUR LE CALCUL DE LA DISPONIBILITE	70
III.4. ETUDES DES PANNES PAR TYPES	72
III.4.1. ANALYSE ABC	72
III.4.2 : APPLICATION DE LA METHODE ABC POUR L'ETUDE DE LA TURBINE A VAPEUR.....	73
III.5. CONCLUSION	78
CHAPITRE IV: ETUDE QUALITATIVE PAR L'AMDEC DE TURBINE A VAPEU	79
IV.1. INTRODUCTION.....	80
IV.2. APPLICATION DE LA DEMARCHE AMDEC :	80
IV.2.1. DECOMPOSITION FONCTIONNELLEMENT DE SYSTEME :	80
IV.2.2. DECOMPOSITION STRUCTURELLE :	81
IV.2.3. ANALYSE DES SOUS-SYSTEME AMDEC	83
IV.2.4. ANALYSE DU SYSTEME TURBINE A VAPEUR AMDEC	86
IV.3. SYNTHESE OU EVALUATION DE LA CRITICITE	89
IV.4. PROGRAMME DE MAINTENANCE DE LA TURBINE A VAPEUR.....	89
IV.6. CONCLUSION.....	92
CONCLUSION GENERALE.....	93
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :.....	94
ANNEXES	Error! Bookmark not defined.

INTRODUCTION GENERAL

La maintenance est un facteur concurrentiel puisqu'il influe sur la production, la qualité et les coûts. Elle est essentielle de prolonger l'espérance de vie des entreprises et de leurs actifs. Elle devient de plus en plus importante comme l'une des fonctions clés de l'ensemble de l'industrie. Alors que la tendance vers des niveaux d'automatisation plus élevés et une complexité accrue des machines ne fera que renforcer la nécessité pour les organisations d'avoir une approche formelle et structurée des fonctions de maintenance.

Dans ce cas, le rôle de la fonction de service devient encore plus important. Elle augmente la disponibilité et la fiabilité des installations de production, réduit les pannes grâce à des interventions régulières et réduit les accidents en maintenant un niveau de sécurité approprié dans l'installation.

Par conséquent, on peut dire que l'augmentation de la production dépend de l'analyse quantitative et qualitative de chaque système d'entreprise industrielle. L'objectif principal de ces techniques et méthodes analytiques est de trouver des solutions techniques pour améliorer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des équipements, et les performances des systèmes de production en général.

À cette fin, et dans le but d'obtention du diplôme de master en génie mécanique, j'ai effectué une analyse qualitative et quantitative des risques de panne d'une installation stratégique dans la chaîne de production et le raffinage du sucre, qui est la turbine à vapeur.

Cette étude nous a permis d'évaluer un certain nombre de paramètres visant à optimiser la sûreté de fonctionnement de la dite machine.

Le travail réalisé est composé de deux parties dont la première a été réservée à l'analyse de fiabilité basée sur le concept FMDS en partant d'un historique de pannes fourni par le responsable du service maintenance alors que dans la deuxième partie du travail nous avons élaboré une analyse qualitative et de risque de défaillances tout en utilisant le concept AMDEC.

Pour mener à bien notre étude de fiabilité nous avons préféré commencer notre travail par la présentation des concepts fondamentaux de la maintenance ainsi que les différents outils d'amélioration de cette dernière. Nous avons clôturé ce premier chapitre par une étude critique de la politique de maintenance, adoptée par l'ex ENASUCRE, au moyen de l'audit de LAVINA.

L'importance et le principe de fonctionnement de la turbine à vapeur, comme étant une partie intégrante et stratégique participant à la production de l'électricité, a fait l'objet du deuxième chapitre.

L'historique des pannes, avec les temps de bon fonctionnement ainsi que les temps techniques de réparation, fourni par les agents de la maintenance, a été utilisé pour une première étude statistique approchée de fiabilité. Dans la deuxième partie de ce troisième chapitre ce même historique de pannes a été utilisé pour une étude, plus poussée de fiabilité, basée sur le concept FMD tout en calculant les différents paramètres du modèle le plus complet de fiabilité, qui est la loi de Weibull. Cette partie d'étude a été terminée par une analyse de types de pannes au moyen de la méthode ABC de Pareto.

Pour une étude plus complète de sûreté de fonction de la turbine à vapeur, Une étude qualitative, faite par l'analyse des modes de défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité a été traitée dans ce dernier chapitre.

CHAPITRE I: DIAGNOSTIC DE LA FONCTION
MAINTENANCE

I.1. INTRODUCTION

L'entretien des installations de production est un facteur clé de la productivité des usines et de la qualité des produits. Il s'agit d'un défi industriel impliquant des méthodes qui remettent en question les structures fixes existantes et facilitent l'adaptation aux nouvelles propriétés des matériaux.

I.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE

D'après la norme AFNOR (NF X 60-010), la maintenance est défini comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». En effet, maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, réparation, amélioration, vérification, ...) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production ainsi que la sécurité d'opération.[1]

Au cours des vingt dernières années, la maintenance a considérablement évoluée. Actuellement, elle constitue l'un des vecteurs essentiels de compétitivité des entreprises.

Les concepts liés à la maintenance sont :

Diagnostic : Identifier les défauts en fonction des symptômes.

Expertise : intervention, services professionnels, évaluation de l'état de l'installation.

Pronostic : Prédiction, en supposant ce qui arrivera à l'appareil.

I.3. LES ACTIVITES DE LA MAINTENANCE (NORME NF)

1. L'inspection : C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.

2. La surveillance : C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objectif d'observer l'état réel d'un bien.

3. La réparation : Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

4. Le dépannage : Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée

5. L'amélioration : Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

6. La modification : Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

7. La révision : Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

8. La reconstruction : L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine.

I.4. LES TEMPS DE LA MAINTENANCE

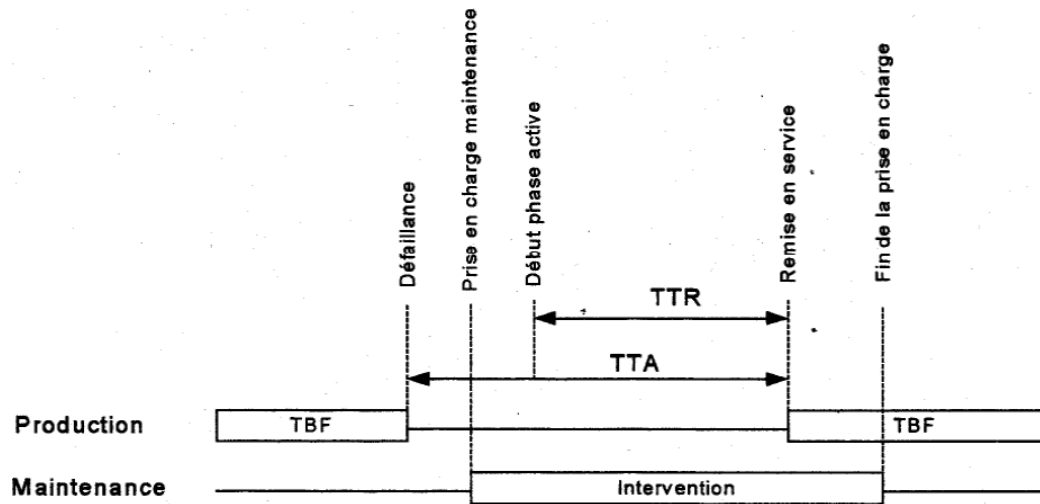


Figure I.1: Temps de maintenance.

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

La MTTA est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

I.5. LES TYPES DE MAINTENANCE

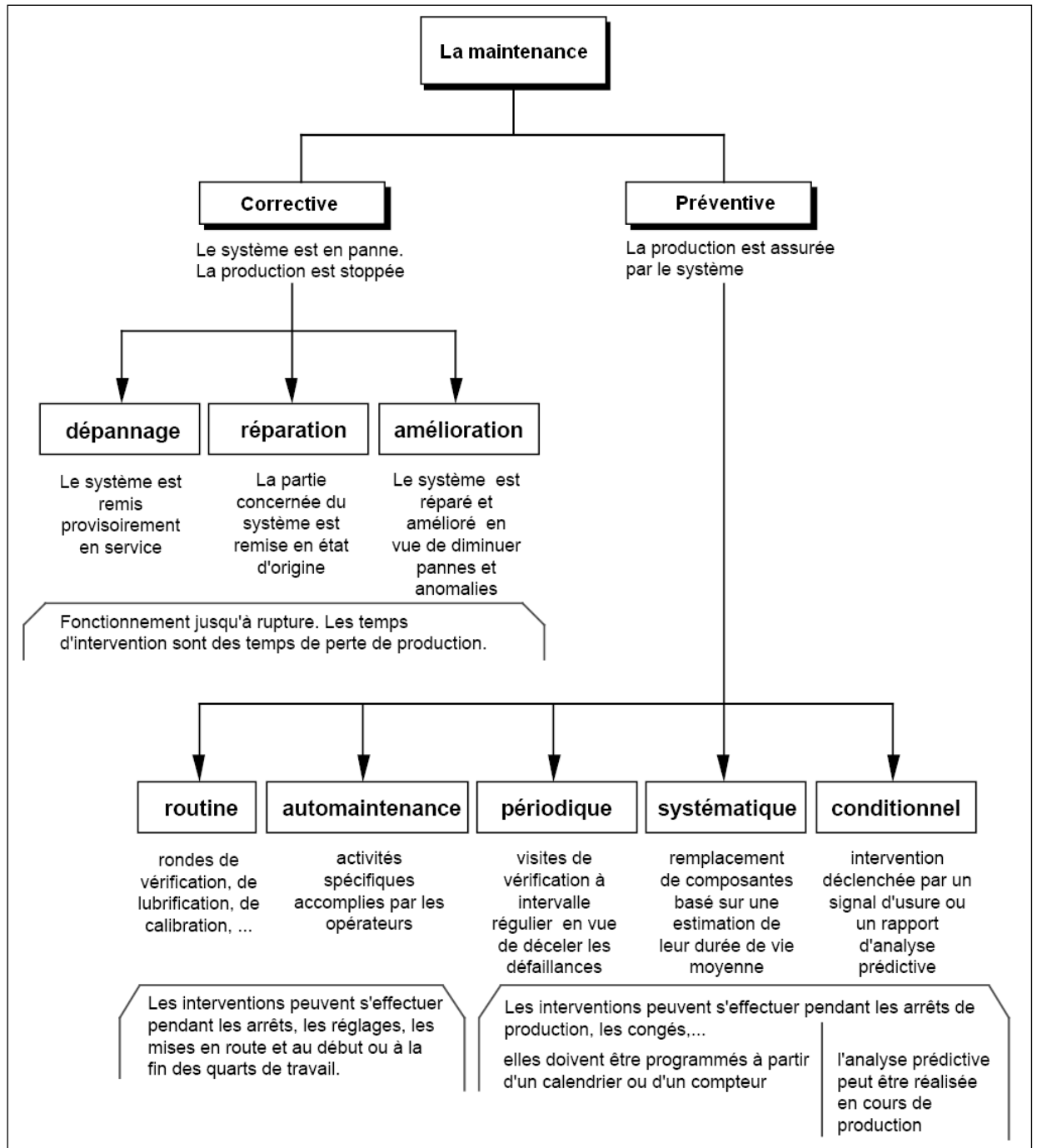


Figure II.2: Classification des types de la maintenance.

Il existe plusieurs types de maintenance que nous pouvons distinguer :

Maintenance préventive : La maintenance préventive régulière augmente la fiabilité du système mais ne corrige pas les erreurs.

Maintenance curative ou corrective : effectuée après la détection d'une défaillance, y compris le diagnostic de la cause à corriger.

Maintenance conditionnelle ou prédictive : Éviter les temps d'arrêt sans démanteler ou arrêter la production. Cette maintenance est basée sur une analyse de l'état de la machine. La maintenance prédictive se présente sous trois formes :

-Traditionnelle (les spécialistes inspectent occasionnellement la machine et analysent ses mesures périodiques pour tenter de prédire les défauts possibles).

-Continue (Les opérateurs de machines installent des capteurs sur les machines critiques, les experts effectuent l'analyse de l'information sur les PC.

-Smart continue (la collecte et l'analyse se font automatiquement).

I.6. OPERATIONS DE MAINTENANCE

I.6.1 OPERATIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE

Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d'actions.[2]

- Le premier groupe concerne la localisation de la défaillance ; il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.

- Le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification soit et du matériel ou du logiciel.

- Le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation.

I.6.1.1 LA LOCALISATION DE DEFAILLANCE

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément les éléments par les quels la défaillance se manifeste.

Le test : c'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

La détection : c'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.

Le dépistage : c'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement.

Le diagnostic : c'est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

I.6.1.2 LA REMISE EN ETAT

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes :

LE DÉPANNAGE

a) Définition : C'est une action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

b) Conditions d'applications : Le dépannage, opération de maintenance corrective, n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses.

De ce fait les services de maintenance, soucieux d'abaisser leurs dépenses, tentent d'organiser les actions de dépannage. D'ailleurs certains indicateurs de maintenance, pour mesurer son efficacité, prennent en compte le problème du dépannage.

c) Cas d'applications : Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

LA RÉPARATION

a) Définition : C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

b) Conditions d'applications : L'application de la réparation, opération de maintenance corrective, peut être décidée, soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'un d'une défaillance, soit après dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

c) Cas d'application : Tous les équipements sont concernés.

LA MODIFICATION

C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emploi.

I.6.1.3 LA DURABILITE

La durabilité est la durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données.

Les opérations maintenance qui concernent la durabilité d'un bien sont les suivantes :

La rénovation : inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.

La reconstitution : remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

La modernisation : remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que celui d'une reconstruction.

I.6.2 OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions.[2]

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.

- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.

- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.

- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

I.6.2.1 L'ENTRETIEN

L'entretien comprend l'entretien préventif courant et régulier, comme le nettoyage, la décontamination et le retraitement des surfaces, que ce soit à l'extérieur ou à l'intérieur. Par exemple, l'existence de différents types de nettoyage pour le nettoyage externe peut être signalée en fonction de la structure et de l'état de l'origine, des produits utilisés et de la méthode utilisée (solutions alcalines aqueuses, solvants organiques, soufflage abrasif, etc.). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

I.6.2.2 LA SURVEILLANCE

La terminologie ci-dessous représente les processus nécessaires à la surveillance de l'évolution de la situation immobilière, mis en œuvre de façon continue ou à intervalles prédéterminés ou non précisés, calculés en fonction du temps ou du nombre d'unités d'utilisation.

Inspection : activité d'observation entreprise dans le cadre d'une mission défini. Il ne se limite pas nécessairement à la comparaison avec des données prédéfinies. Cette activité peut être effectuée par le biais de visites.

Contrôle : Vérification de la conformité avec les données prédéterminées, suivie d'un jugement. Le contrôle peut:

- implique une activité d'information,
- Inclusion de la décision : acceptation, rejet, report,
- Mène à des mesures correctives.

Visite : Processus consistant en une inspection détaillée et prédéfinie de tous (visite publique) ou d'une partie (visite limitée) de divers éléments de la propriété et peut nécessiter un entretien de niveau 1.

I.6.2.3 LA REVISION

Il s'agit de l'ensemble des contrôles, examens et interventions effectués pour assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pour une période donnée ou pour un certain nombre d'unités d'utilisation. Il est d'usage de faire la distinction entre les révisions partielles et les révisions générales en fonction de la portée de ce processus. Dans les deux cas, ce processus implique le retrait de différents sous-ensembles. Le terme "révision" ne doit donc pas être confondu avec la terminologie des visites, contrôles, inspections, etc.

I.6.2.4 LA PRESERVATION

Elle comprend les opérations suivantes.

Entreposage : Ensemble de processus à suivre pour assurer la sécurité des biens pendant les périodes de non-utilisation.

Survie : C'est l'ensemble des processus qui doivent être entrepris pour assurer la sécurité des biens pendant les périodes de phénomènes agressifs de l'environnement à un niveau supérieur à celui spécifié dans l'utilisation de référence.

Mise en service : Ce sont toutes les opérations requises, après l'installation de la propriété à la réception, y compris la vérification de la conformité à l'exécution du contrat.

I.7. IMPORTANCE DE LA MAINTENANCE ET TYPES D'ENTREPRISE

L'importance de la maintenance diffère selon le secteur d'activité :

- La maintenance sera inévitable et lourde dans les secteurs où la sécurité est capitale.
- Inversement, les industries manufacturières à faible valeur ajoutée pourront se satisfaire d'un entretien traditionnel et limité.

- Importance fondamentale : nucléaire, pétrochimie, chimie, transports (ferroviaire, aérien, etc.)

Cours Maintenance Industrielle

- Importance indispensable : entreprises à forte valeur ajoutée, de procès, construction automobile

- Importance moyenne : industries de constructions diversifiées, coûts d'arrêts de production limités, équipement semi automatiques
- Importance secondaire : entreprises sans production de série, équipements variés
- Importance faible ou négligeable : entreprise manufacturière, faible valeur ajoutée, forte masse salariale.[3]

I.8.LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE

La maintenance industrielle aide les entreprises à gérer leurs parcs d'équipement et toutes les étapes de leur cycle de vie pour atteindre leurs objectifs de production. Il s'agit d'une pratique essentielle pour assurer le bon fonctionnement d'une usine ou d'une installation. En effet, ce dernier permet de réparer et/ou de remplacer les composants endommagés pour éviter les interruptions de production. .

I.9. MAINTENANCE DE LA TURBINE A VAPEUR

La maintenance a principalement pour but de réduire le temps d'arrêt des équipements qui coûte cher, ce qui permet de limiter les pertes de production et de réduire les coûts de maintenance.[4]

Parmi les problèmes majeurs rencontrés dans les turbines à vapeur on trouve :

- Les aubes de turbine à vapeur ont besoin d'être réparées fréquemment en raison de dommages provoqués par les mauvaises conditions de vapeur, la perte de plaque anti-érosion brasées ou de dommages provoqués par des corps étrangers. Ces aubes peuvent être en principe entièrement réparées en toute sécurité sur site ou en atelier, avec jusqu'à 50% de remplacement du profil externe, comprenant souvent :

- Le remplacement des plaques de protection et du bord d'attaque.
- La réparation par soudure de section endommagée du bord de fuite.
- Le remplacement complet des extrémités.
- Le remplacement/ la remise en état de tenons.
- Le repositionnement d'amortisseurs et réinstallation de fils de liaison.

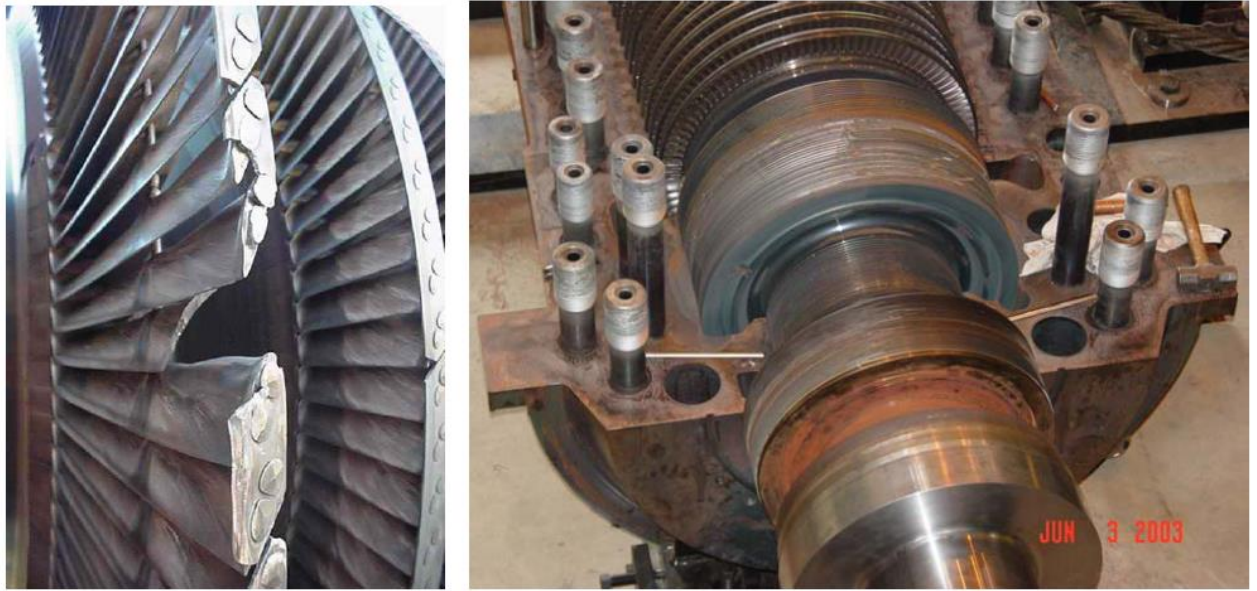


Figure I.3 : Défaillances et frottements des aubes de turbine à vapeur.

- Réparation des diaphragmes et de tuyère : permet de réparer/remettre en condition pour remplacer entièrement les ailettes ou les segments de profils externe, y compris :

- La réparation par soudure d'ailettes/ de séparation.
- Le remplacement de segment d'ailette.
- Le remplacement et la réparation de bagues internes/externes.
- La réparation et la modification de goupille de positionnement.
- Le remplacement de joint.

I.10. DIAGNOSTIC DE LA FONCTION MAINTENANCE PAR LA DEMARCHE

LAVINA

I.10.1. INTRODUCTION

Le diagnostic de maintenance est l'étude systématique d'une situation liée à une organisation ou à un service de maintenance pour vérifier la conformité aux règles de maintenance établies. Lorsqu'on décide de changer l'organisation ou d'améliorer les pratiques de maintenance, le diagnostic est fait en collaboration avec les personnes concernées.

I.10.2. PRESENTATION DE LA DEMARCHE LAVINA

Le diagnostic de la maintenance consiste à détecter les éventuels écarts entre la situation actuelle et une situation de référence visée : " la norme ", puis à prendre des actions correctives visant à mieux atteindre les objectifs du progrès.

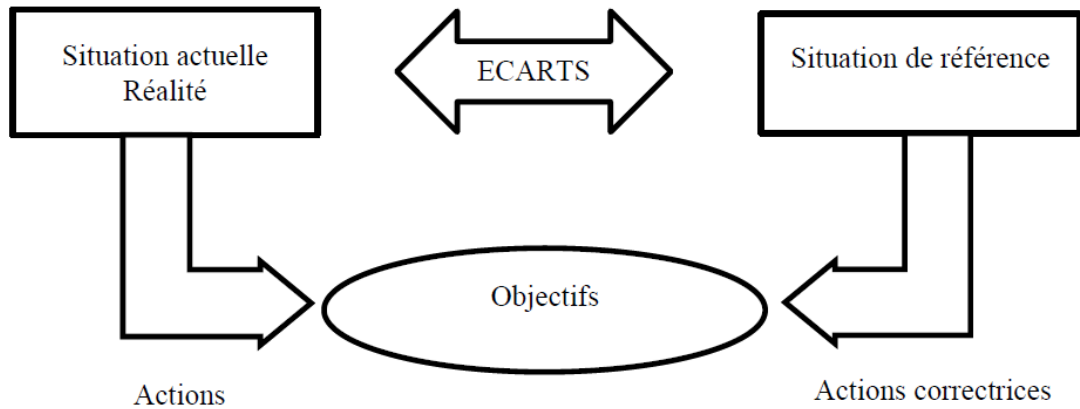


Figure I.4 : Détection des éventuels écarts.

Nous avons opté pour la méthode LAVINA comme outil du diagnostic de la fonction maintenance. En effet cette méthode de diagnostic permet l'analyse de fonctionnement de la maintenance selon les rubriques suivantes [5]:

1. L'organisation générale : Elle couvre les procédures générales d'organisation du service maintenance, les règles selon lesquelles est établi l'organigramme (compromis hiérarchie/fonctionnel) et les éléments de la politique du service.

2. Les méthodes de travail : Elles permettent la préparation du travail avec, en particulier, les estimations de temps et les méthodes d'intervention.

3. Le suivi technique des équipements : Il regroupe toutes les actions d'analyse menées en vue de doser correctement, en fonction d'objectifs de disponibilité et de coût, les interventions palliatives, préventives et correctives sur les divers équipements. En fait, il s'agit essentiellement de traiter l'information concernant les équipements : fiches techniques, gestions des modifications et historiques.

4. La gestion du portefeuille de travaux : Elle couvre le traitement des demandes de travaux et des plans de maintenance, de programmation, d'ordonnancement et de lancement. 5. La gestion des pièces de rechange : Elle permet de nous renseigner sur comment sont tenus les stocks ? Comment les pièces sont-elles stockées ? Quels modes de gestion sont-t-ils adoptés ? ...

5. La gestion des pièces de rechange : Elle permet de nous renseigner sur comment sont tenus les stocks ? Comment les pièces sont-elles stockées ? Quels modes de gestion sont-t-ils adoptés ?

6. L'outillage et appareils de mesure : Les métiers de la maintenance demandent à être de mieux en mieux outillés et doivent disposer de nombreux moyens de manutention. Cela demande une organisation et une

7. La documentation technique : Il faut avoir une documentation complète, avec un accès facilité par un classement irréprochable et bénéficiant d'une mise à jour systématique.

8. Le personnel et la formation : Cette rubrique évalue les compétences du personnel ainsi que le climat de travail.

9. La sous-traitance : A-t-on de bons contrats ? Evalue-t-on les sous-traitants ? Comment assurer les suivis sur site ?

10. Le contrôle de l'activité : Tableau de bord, système d'informations comptes rendus d'activité et d'élaboration du budget.

I.10.3. LE DEROULEMENT DU DIAGNOSTIC

Pour bien mener ce diagnostic, les questionnaires de LAVINA sont remplis en collaboration avec les exploitants du complexe et le responsable du service technique et maintenance. Les réponses possibles sont :

- "Oui",
- "Non",
- "Plutôt Oui" ou "Plutôt Non", si l'on n'est pas totalement affirmatif ou totalement négatif.
- "Ni Oui, Ni Non", si l'une des options précédentes ne convient pas.

Pour l'utiliser, il suffit de cocher ou d'encrer le nombre indiqué dans la colonne se rapprochant le plus de l'appréciation portée pour la question posée. Donc, pour chaque réponse, une note lui correspond, laquelle varie en fonction de l'importance de la question. Un sous-total est ensuite calculé pour chacune des rubriques.[6]

Dans le tableau suivant un exemple d'une grille du questionnaire de LAVINA :

(Les autres tableaux sont implémentés dans l'annex)

CHAPITRE I: DIAGNOSTIC DE LA FONCTION MAINTENANCE

Tableau I.1 : Exemple d'une grille du questionnaire de LAVINA avec notation

A- Organisation générale	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Avez-vous défini par écrit et fait approuver l'organisation de la fonction maintenance ?	0	10	15	<u>20</u>	30
2- Les responsabilités et les tâches définies dans l'organisation sont-elles vérifiées périodiquement pour adaptation ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
3- Les responsabilités et les tâches des techniciens sont-elles clairement définies ?	0	5	10	15	<u>20</u>
4- Le personnel de l'encadrement et de supervision est-il suffisant ?	0	10	15	<u>20</u>	30
5- L'activité de chaque chef d'équipe est –elle encadrée par un budget de fonctionnement ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
6- Y a-t-il quelqu'un de désigné pour assurer la coordination des approvisionnements, des travaux, des études d'installations et de la formation ?	0	5	10	<u>20</u>	0
7- Existe- il des fiches d'intervention et de suivi pour chacun des machine ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8- Les agents exploitant le matériel disposent-ils de consignes écrites pour réaliser les tâches de maintenance (surveillance, contrôle de fonctionnement,...) de premier niveau ?	0	10	<u>20</u>	30	0
9- Réunissez-vous périodiquement pour examiner les travaux à effectuer ?	0	5	10	15	<u>20</u>
10- Les objectifs du service maintenance sont-ils écrits et sont-ils contrôlés régulièrement ?	0	10	15	<u>20</u>	30
11- Etes-vous consulté ou suivi par l'exploitant ou bien la direction technique.	0	10	15	20	<u>30</u>
A- 250 Points possibles	207.5				

I.10.4. RESULTATS DU DIAGNOSTIC

Tableau I.2 : Résultats du questionnaire de LAVINA

Domaines d'analyses	Scores obtenus	Max possible	Pourcentage
A- Organisation générale	207.5	250	83%
B- Méthodes de travail	227.5	250	91%
C- Suivi technique des équipements	230	250	92%
D- Gestion du portefeuille de travaux	235	300	<u>78.3%</u>
E- Stock de pièces de rechange	107.5	200	<u>53.7%</u>
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	145	200	<u>72.5%</u>
G- Organisation matérielle de l'atelier maintenance	155	200	<u>77.5%</u>
H- Outillages	150	200	<u>75%</u>
I- Documentation technique	195	200	97.5%
J- Personnel et formation	337.5	400	84.3%
K- Sous-traitance	200	250	80%
L- Contrôle de l'activité	230	300	<u>76.3%</u>
SCORE TOTAL	2420	3000	80.6%

Pour mieux visualiser ces résultats, nous les avons présentés sur le graphe en radar suivant:

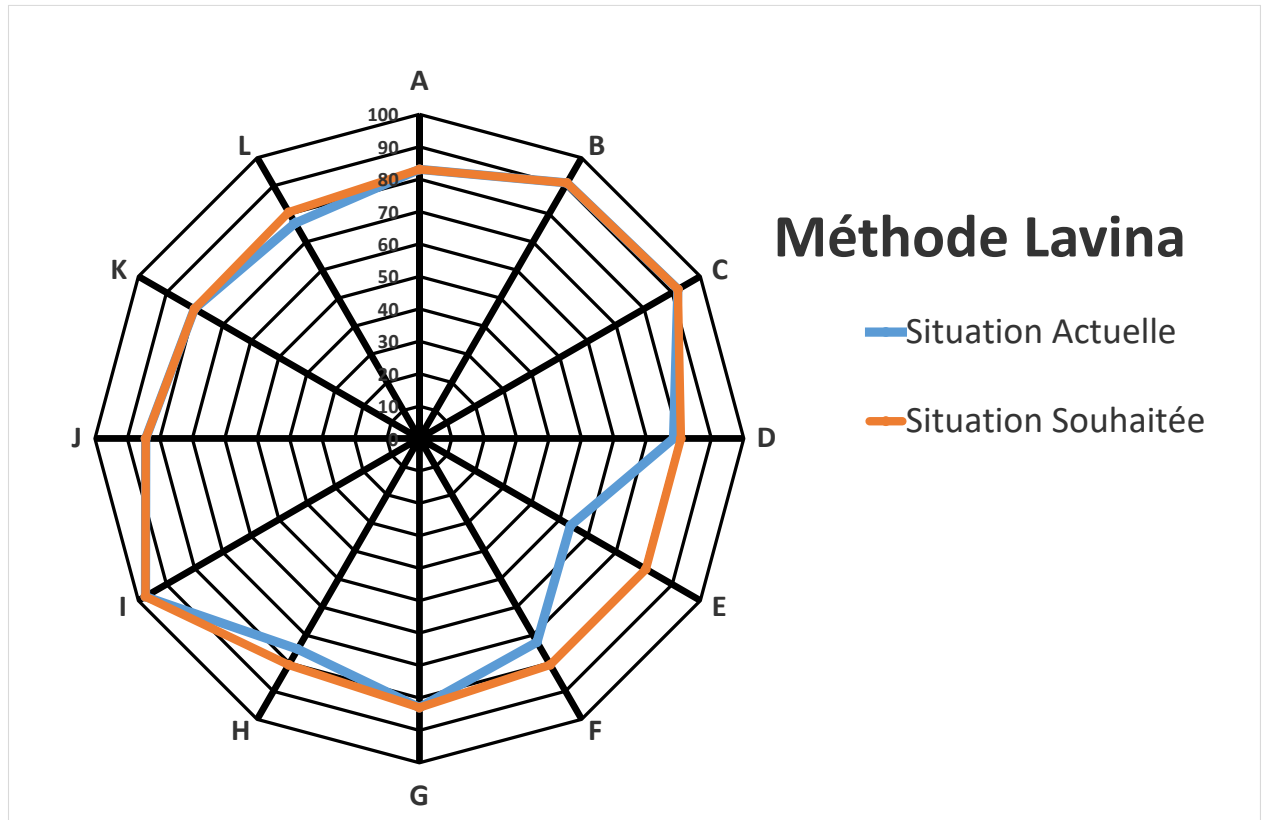


Figure I.5: Résultat en graph de la méthode de lavina

Le tableau (I.2) permet d’identifier six domaines présentant, plus ou moins, des faiblesses ou dont l’action est prioritaire. Ce sont les domaines dont le pourcentage indiqué à la quatrième colonne du tableau (I.2) est inférieur à celui du score total (Gestion du portefeuille de travaux, Gestion de stock de pièces de rechange, Achat et approvisionnement des pièces et matières, Organisation matérielle de l’atelier, Outillage, Contrôle d’activité).

I.10.5 ANALYSE DES RESULTATS

Le tableau (I.3) montre les propositions que nous formulons pour remédier aux manques observés dans les six rubriques qui affichent une faiblesse. Ces propositions devraient augmenter le score de chaque rubrique jusqu’à arriver à un pourcentage aussi proche que possible de la moyenne totale.

Tableau.1.3 : Propositions d'améliorations

Rubriques du questionnaire	Propositions d'amélioration
D- Gestion du portefeuille de travaux	Revoir le budget alloué au service maintenance.
E- Stock de pièces de rechange	Suivre rigoureusement la consommation des articles par équipement
	Accélérez pour terminer la construction d'un nouvel magasin de pièces de rechange
	Définir le seuil de déclenchement et les quantités à approvisionner pour chaque article en stock
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	Les délais d'émission d'une demande doivent être aussi courts que possible
	Pour les articles à consommation régulière passez par des fournisseurs pour faciliter le contact pour chaque achat.
G- Organisation matérielle de l'atelier	L'atelier doit être rangé correctement
	Définir pour chaque travailleur un poste de travail clairement défini
H- Outillage	Fournir les outillages spéciaux et les équipements de test nécessaires
L- Contrôle de l'activité	Suivie des performances du service
	Mise en place d'un tableau de bord permettant de décider des actions correctives à entreprendre

I.11. CONCLUSION

Nous avons préféré commencer notre travail par une étude critique de la politique de maintenance suivie par les responsables de la l'ex ENASUCRE tout en utilisant une technique très efficace connue par le nom de la méthode de LAVINA.

Cet audit a vu la lumière grâce à l'aide précieuse des deux ingénieurs, Mrs Ouerfella Rabah & Zamiti Salah, les plus anciens de l'ex ENASUCRE et qui ont assurés d'une façon minutieuse et de près durant plusieurs années le bon déroulement du service maintenance auxquels nous adressons nos vifs remerciements.

Cette dernière, basée sur un questionnaire formé de douze rubriques, chacune contenant des dizaines de questions, a été réalisé grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant de près ou de loin dans la fonction maintenance.

Les différents résultats trouvés nous ont permis de cibler six domaines dont quatre principaux qui présentent certaines faiblesses et qui nécessitent des améliorations.

Suite à cette étude, nous avons pu dégager certaines propositions dont l'application peut réduire les problèmes décelés et d'augmenter la fiabilité des installations.

CHAPITRE II : TURBINE A VAPEUR (STEAM TURBINE)

II.1. INTRODUCTION

Les turbines à vapeur sont utilisées dans de nombreuses industries pour faire fonctionner les ventilateurs de chaudières, les chaudières à combustible et pompes d'eau, compresseurs de processus et de refroidissement, soufflantes de haut fourneau, arbres de ligne de papeterie, sucrerie broyeurs et générateurs dans une variété d'industries et d'applications.

Les turbines peuvent être petites et simples dans leur conception/construction ou grandes, très complexes les designs/développements impliquant plusieurs sections et plusieurs arbres.

Par conséquent, il est nécessaire de déterminer les intervalles d'entretien et de révision requis pour les turbines à vapeur. Tenir compte de la conception/construction de la turbine et de l'industrie et de l'application dans laquelle la turbine sera utilisée. En plus des configurations et des industries liées aux turbines à vapeur, la surveillance, l'exploitation et l'entretien de l'infrastructure, y compris les pratiques particulières, la qualité de la vapeur peut avoir une incidence importante sur la fiabilité des turbines à vapeur industrielles ou de services publics.

II.2. HISTORIQUE DES MACHINE A VAPEUR

L'utilisation de la vapeur pour faire générer un travail est commencée avec l'invention de l'autocuseur par Denis Papin en 1681, il a inventé la chaudière pour faire bouillir l'eau et avec une combinaison cylindre-piston qui a rendu possible le travail mécanique en utilisant la pression de la vapeur.

Au début du XIXe siècle, les machines à vapeur étaient assez répandues mais les principes physiques fondamentaux régissant leur fonctionnement étaient encore obscurs. De nombreux chercheurs se sont cassé les dents sur le problème de l'efficacité des machines à vapeur.

Ce n'est qu'après deux siècles qu'une grande avancée sera due aux travaux du physicien Sadi CARNOT (1796-1832). En 1824, il publie le livre "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance". Les idées développées par Carnot sont le fondement de la thermodynamique, mais basées sur une prémisse erronée : Carnot est convaincu de l'existence du calorique. Il conçoit une machine idéale, la plus efficace possible, réversible, fonctionnant avec un gaz parfait et dont l'efficacité ne dépend que des températures des sources chaude et froide (selon ce qu'on appellera le cycle de Carnot). Le cycle de Carnot est composé de deux courbes isothermes réversibles et de deux courbes adiabatiques

réversibles. Le livre de Carnot passe inaperçu. Ce n'est que dix ans plus tard qu'Emile CLAPEYRON (1799-1864) en trouve une copie et la publie. [7]

II.3.PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DE LA TURBINE A VAPEUR

L'énergie mécanique est requise pour entraîner l'alternateur. Tout type de "moteur" peut être utilisé pour entraîner l'alternateur (ex: une turbine à gaz, une turbine à vapeur, une turbine à eau ou turbine à air), on peut également utiliser des moteurs diesel ou à essence.

Pour générer de l'énergie mécanique dans des applications industrielles, le moteur doit être très puissant et avoir un très bon rendement (la taille du moteur est moins importante). De ces machines, la turbine à vapeur est de loin la plus appropriée pour rencontrer ces exigences. Dans ce cas ce mécanisme fonctionne dans lequel l'énergie de pression de la vapeur est transformée en énergie cinétique et plus tard à son tour est transformée en énergie mécanique de rotation de l'arbre de turbine.

L'énergie thermique de la vapeur est convertie en énergie mécanique à l'aide des aubes. L'expansion est réalisée par une série d'aubes fixes qui dirigent la vapeur vers les jets à grande vitesse. Ces jets contiennent beaucoup d'énergie cinétique, qui est convertie en rotation de l'arbre par les pales du rotor lorsque le jet de vapeur change de direction. Le jet de vapeur qui se déplace à la surface incurvée exerce une pression sur l'aube en raison de sa force centrifuge. Chaque rangée des aubes fixes et mobiles est appelée un étage. Le rotor tourne avec les pales de la turbine, et les aubes directrices sont disposées concentriquement dans le carter circulaire de la turbine. [8]

Cette série de transformation d'énergie implique l'intervention des contraintes sur le mécanisme ce qui nécessite de la bonne compréhension des cycles thermiques et fonctionnements de ces machines.

II.3.1.REALISATION PRATIQUE DE FONCTIONNEMENT

Une turbine se compose d'un rotor et d'un stator, le rotor se compose d'un arbre sur lequel les aubes sont fixées, et le stator se compose d'un boîtier avec des aubes fixes, généralement divisées en deux parties montées sur un plan axial. Elle comprend également un anneau d'entrée segmenté et une sortie divergente face au condenseur. Le rôle du déflecteur fixe est d'assurer une détente complète ou partielle en formant un réseau de tuyères et en changeant le sens d'écoulement par rapport à l'étage précédente. [9]

Une turbine à vapeur comprend un ou plusieurs étages assurant chacun deux fonctions :

-La détente de la vapeur qui correspond à la conversion de l'énergie potentielle de pression en énergie cinétique,

-La conversion de l'énergie cinétique en couple de rotation de la machine par le profil oblique des aubages mobiles.

Les turbines à vapeur se classent en deux grandes catégories souvent combinées dans une même machine :

A. Turbine à action

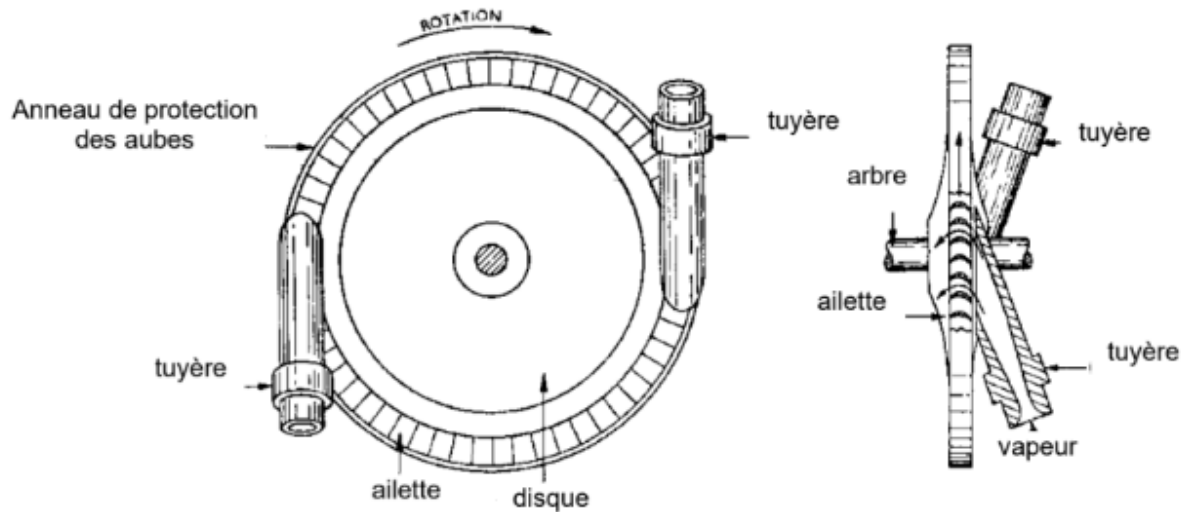


Figure II.1 : Turbine de Laval (1883)

Une turbine à action est constituée d'une série de tuyères fixes et d'une roue en rotation (rotor) (figure II.1) travaillant à pression constante dans lesquelles la détente se fait uniquement dans les aubages fixes. Elles sont bien adaptées aux étages à forte pression et se prêtent mieux à la variation de débit et par suite variée la puissance de la turbine. Leur construction est plus coûteuse et réserve leur emploi aux premiers étages de la turbine.

B. Turbine à réaction

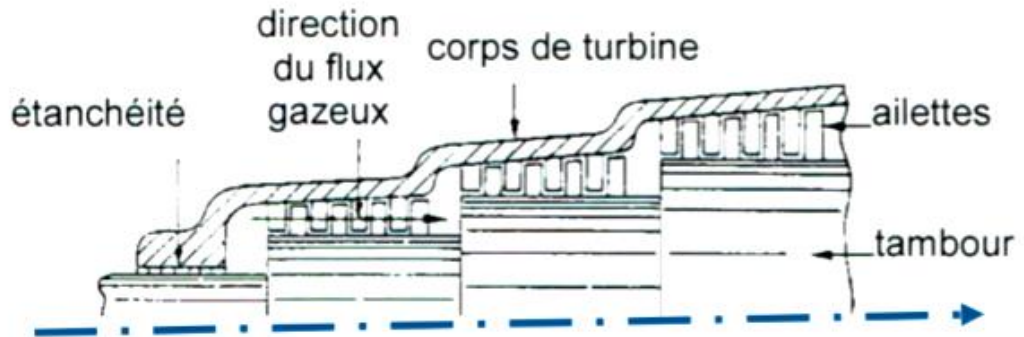


Figure II.2 : Schéma d'une turbine à réaction

Les turbines à réaction dans lesquelles la détente est répartie entre les aubages fixes et mobiles. Le degré de réaction est défini par la répartition de la détente entre les aubages. Elles se prêtent mieux aux étages à basse pression et leur coût est plus faible. Lorsque le degré de réaction d'un étage est de 50 %, la forme des aubages fixes et mobiles est la même ce qui diminue le nombre de moules nécessaires à la fabrication. Par contre pour réaliser la même détente, la turbine à réaction demandera plus d'étages, ce qui augmente la longueur de la ligne d'arbre.

La réalisation des turbines nécessite le recours à des aciers fortement alliés (Cr-Ni-V) pour résister aux contraintes thermiques, mécaniques (force centrifuge) et chimique (corrosion par la vapeur), voir l'utilisation de superalliage à base Ni. Les deux premières contraintes limitent le diamètre et donc le débit admissible aux derniers étages. Ainsi des aubes de plus d'un mètre de longueur posent déjà de sérieux problèmes de réalisation. De plus, l'hétérogénéité radiale des vitesses impose une incidence variable de l'aube qui présente alors une forme gauche dont l'usinage est complexe et dont les contraintes mécaniques limitent la bonne tenue.

En pratique la température est limitée à 550 à 580 °C et le maximum mis en œuvre est de 650 °C. La pression est de l'ordre de 180 bars et atteint 250 bars pour les installations supercritiques.

De ce fait, les turbines de forte puissance comprennent généralement sur un même axe: Une turbine haute pression, Plusieurs (2 ou 3) turbines basse pression avec soutirages. Il est ainsi possible d'atteindre des puissances de plus de 1 000 MW avec un rendement de cycle dépassant légèrement 40 %.

À l'autre extrémité, les plus petites turbines ont des puissances de quelques dizaines de kilowatts. Elles comprennent généralement un seul étage et servent à l'entraînement de machines dans l'industrie ou sur des navires. Entre les deux, existe toute une palette de turbines plus ou moins complexes et adaptées à des usages industriels spécifiques (à soutirage, à contrepression, etc.). Mais il existe également de nombreuses petites turbines équipant les turbocompresseurs des véhicules. Les plus petites turbines étant certainement les Turbines dentaires. [10]

Génération électrique : Du fait de leurs caractéristiques, Les turbines à vapeur sont très employées dans les centrales thermiques de moyenne et forte puissance. Dans la gamme de puissance est de 1 à 10 MW.

II.3.2.LES PRINCIPAUX COMPOSANTS DES TURBINES A VAPEUR

-Chaudière : Le rôle du générateur de vapeur est d'extraire l'énergie calorifique du combustible pour la céder à l'eau et produire de la vapeur à des paramètres fixés. Il constitue la source chaude du cycle thermodynamique. Cette vapeur sera utilisée par la turbine pour fournir de l'énergie mécanique.

-Pompe alimentaire : La pompe KSB à très haute pression est une pompe à centrifuge multicellulaire. Elle comprend un corps d'aspiration, un corps de refoulement et un certain nombre d'étages ou de cellules assemblées par des tirants. L'eau, provenant de la bache alimentaire à la pompe, possède une énergie de pression et une énergie cinétique qui seront augmentées dans les turbines en mouvement pour alimenter le générateur de vapeur (chaudière) en quantité nécessaires d'eau pour maintenir le niveau normal.

-Transformateurs :

Transformateur principal (TP) :

L'évacuation de l'énergie produite par l'alternateur est évacuée sur le réseau haute tension à travers un transformateur principal élévateur : 13800V/63000V, un disjoncteur 63 KV (disjoncteur 52), trois câbles souterrains à pression d'huile et une ligne triphasée aérienne.

Transformateur de soutirage (TS) :

Les auxiliaires du groupe sont alimentés à travers un transformateur de soutirage (TS) abaisseur : 13800V/6300V en service normal et un transformateur de démarrage (TD) abaisseur : 63000V/ 6300V en secours.

-Alternateur : L'alternateur est une machine électrique du type génératrice à courant alternatif qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Il est entraîné par la turbine

-**Condenseur** : Afin de maximiser le rendement de la turbine à vapeur, la pression et la température de la sortie de vapeur doivent être aussi basses que possible. Pour cela, la vapeur qui sort de la turbine est dirigée vers le condenseur où elle est refroidie et condensée. Le condenseur est un échangeur de chaleur avec des milliers de tubes dans lesquels l'eau du circuit de refroidissement circule. La vapeur circule sur les tubes et se condense au contact de ceux-ci. L'eau du circuit de refroidissement extrait alors la chaleur de la vapeur.

SCHEMA D'UNE TURBINE A VAPEUR

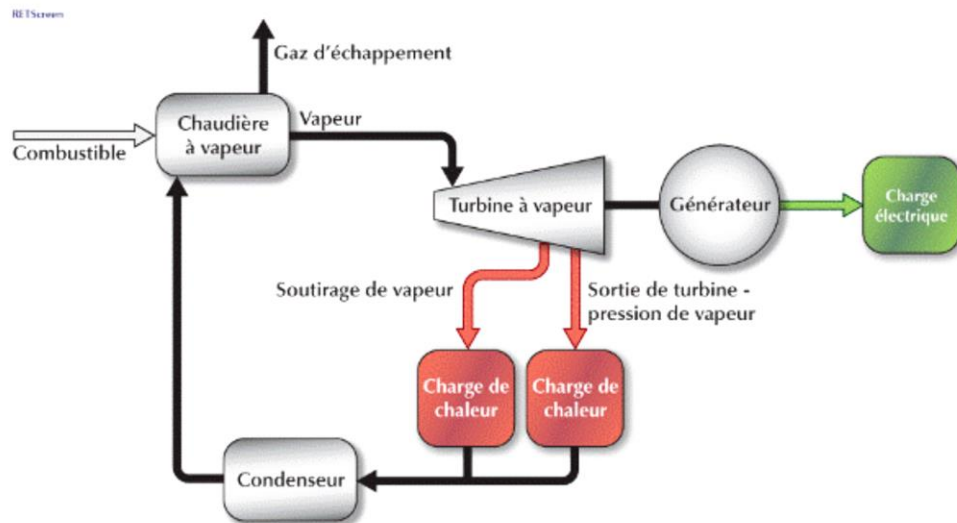


Figure II.3 : Schéma d'une turbine à vapeur.

Bien que les turbines à vapeur soient construites selon deux principes différents (à action ou à réaction, leurs éléments essentiels sont similaires. Elles se composent de tuyères ou de jets, et d'ailettes. La vapeur s'écoule dans les tuyères, dans les quelles elle se dilate. Ainsi, sa température diminue et son énergie cinétique augmente. La vapeur en mouvement exerce une pression contre les ailettes, entraînant leur rotation. La disposition des jets et des ailettes, fixes ou stationnaires, dépend du type de turbine. À la sortie du dernier condenseur (échangeur thermique), l'eau peut être de nouveau vaporisée et surchauffée. L'eau ou la vapeur en sortie est alors ramenée vers la chaudière et la pompe alimentaire, qui compresse de l'eau à l'état liquide. Il s'agit d'une turbine auxiliaire intégrée au cycle thermodynamique de la turbine principale utilisant de la vapeur soutirée dans celle-ci. Les turbines à vapeur possèdent toutefois un équipement annexe, nécessaire à leur fonctionnement. Parmi celui-ci, un palier de tourillon supporte l'arbre et un palier de butée le positionne de manière axiale. Un système d'huile assure

le graissage des paliers ; des joints réduisent les pertes de vapeur tout au long de son trajet. Enfin, un système d'étanchéité empêche la vapeur de s'échapper à l'extérieur de la turbine et l'air d'y entrer. La vitesse de rotation est commandée par des soupapes situées aux entrées d'admission de la machine et pilotées par des systèmes de régulation électroniques ou mécaniques. Les turbines à réaction développent une poussée axiale considérable, du fait de la chute de pression sur les ailettes mobiles. Cette poussée est généralement compensée par l'utilisation d'un piston d'équilibrage. La turbine à vapeur utilise des principes thermodynamiques. Lorsque la vapeur se dilate, sa température et donc son énergie interne diminuent. Cette réduction de l'énergie interne s'accompagne d'une augmentation de l'énergie cinétique sous la forme d'une accélération des particules de vapeur. Cette transformation rend une grande partie de l'énergie disponible. Ainsi, une réduction de 100 kJ de l'énergie interne, du fait de la dilatation, peut provoquer un accroissement de la vitesse des particules de vapeur de l'ordre de 2 800 km/h. À de telles vitesses, l'énergie disponible est importante. Lorsque la pression de la vapeur d'eau en sortie de la turbine est égale à la pression atmosphérique, la turbine est dite à condensation.

Aujourd'hui, les turbines à vapeur sont généralement limitées à une température maximale de 580 °C dans le premier étage, et à une pression maximale d'admission de 170 à 180 bars

II.4. LA THERMODYNAMIQUE DES MACHINE A VAPEUR

Cycles thermodynamiques étudiés : cycles combines turbomoteur/cycle vapeur

Valorisation des gaz chauds émis en sortie du turbomoteur pour alimenter un cycle à vapeur. Permet la production combinée d'électricité par le turbomoteur et par le cycle à vapeur.

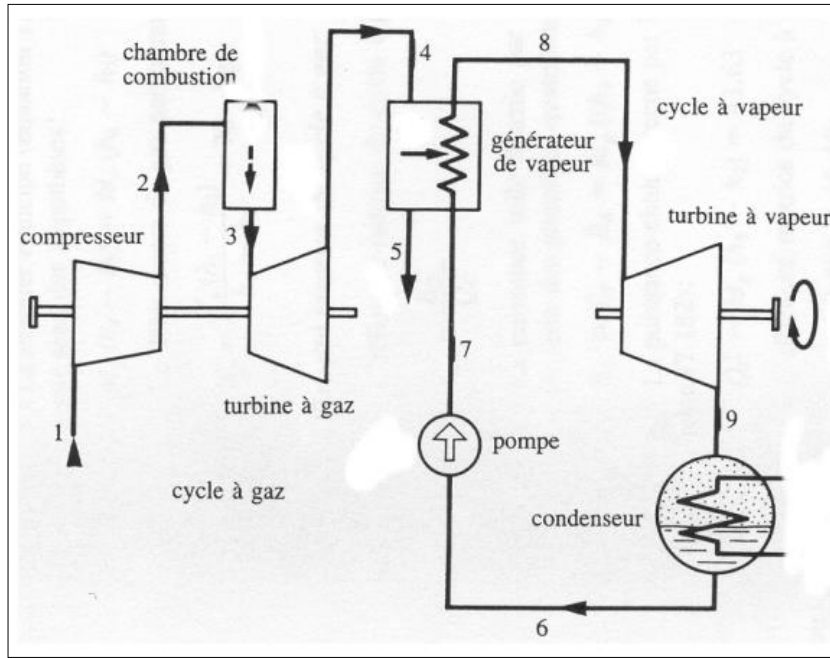


Figure II.4: Cycle turbomoteur.

1-2	compression adiabatique, $W_{12} = h_2 - h_1$
2-3	combustion isobare, $q_{23} = h_3 - h_2$
3-4	détente adiabatique, $W_{34} = h_3 - h_4$
Rendement	$\eta_{th} = \frac{W_{34} - W_{12}}{q_{23}} = \frac{h_3 - h_4 - h_2 + h_1}{h_3 - h_2}$ $\eta_{ex} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{Carnot}}$

En sortie turbine du turbomoteur, la chaleur des gaz permet le chauffage et l'évaporation de l'eau du cycle vapeur. La température T_5 peut encore être élevée.

8 - 9	détente adiabatique $W_{89} = h_8 - h_9$
9 - 6	condensation jusqu'à eau liquide
6 - 7	compression de l'eau dans la pompe, W_{pompe} négligé ; $h_6 = h_7$
7 - 8	chauffage isobare et évaporation isobare et isotherme dans le générateur de vapeur, $q_{78} = h_8 - h_7$

Rendement	$\eta_{th} = \frac{W_{89}}{q_{78} + W_{pompe}} \simeq \frac{h_8 - h_9}{h_8 - h_6}$
Rendement global	$\eta_{global} = \frac{\dot{m}_{air}(W_{34} - W_{12}) + \dot{m}_{eau}W_{89}}{\dot{m}_{air}q_{23} + \dot{m}_{eau}W_{pompe}} \simeq \frac{\dot{m}_{air}(h_3 - h_4 - h_2 + h_1) + \dot{m}_{eau}(h_8 - h_9)}{\dot{m}_{air}(h_3 - h_2)}$

L'efficacité de l'expansion dans une turbine à vapeur moderne est élevée en raison de l'état de développement des composants du trajet de la vapeur, et de la capacité à récupérer les pertes d'un étage dans les étages en aval, par réchauffement. Le rendement avec lequel une section de la turbine convertit l'énergie thermodynamique disponible en travail mécanique dépasse généralement 90 %. Le rendement thermodynamique d'une installation thermique est en fait bien inférieur, en raison de l'énergie perdue dans la vapeur d'échappement de la turbine.

II.5. CARACTERISTIQUES DES TURBINE A VAPEUR

II.5.1. TAILLE DES COMPOSANTS

Étant donné l'augmentation de volume liée à la dilatation de la vapeur dans les différents étages d'une turbine, la taille des ouvertures à travers lesquelles passe la vapeur doit s'accroître d'un étage à l'autre. Dans la conception pratique des turbines, cet accroissement est réalisé en allongeant les ailettes d'un étage à l'autre, en augmentant le diamètre du tambour ou de la roue sur lesquels sont montées les ailettes, et en ajoutant deux ou plusieurs sections de turbine en parallèle. Par conséquent, une petite turbine industrielle peut avoir une forme plus ou moins conique, avec son plus petit diamètre côté haute pression, ou admission, et son diamètre le plus large côté basse pression, ou échappement. Une grosse turbine destinée à une centrale nucléaire peut avoir quatre rotors se composant d'une section à haute pression à double flux, suivie de trois sections à basse pression à double flux.

II.5.2. ÉTAGES SPECIFIQUES

Les turbines à action utilisent généralement un étage de pression appelé turbine Râteau (du nom de l'ingénieur français Auguste Râteau), dans lequel le taux de compression à chaque étage est pratiquement uniforme. Les anciennes turbines à action utilisaient un étage de vitesse de Curtis, mis au point par l'Américain Charles Gordon Curtis. Cet étage comporte deux jeux

d'auges mobiles, avec un jeu intermédiaire d'ailettes fixes à la suite des tuyères. La séparation d'étages d'une turbine à réaction est parfois appelée séparation de Parsons, du nom de son inventeur, le Britannique Charles Parsons.

Une turbine à réaction comporte souvent un premier étage à action qui permet le réglage du système ; une turbine à action possède en général dans ses derniers étages un degré de réaction voisine de 50%.

II.6. APPLICATIONS

Les turbines à vapeur sont notamment utilisées dans la production d'électricité à partir d'énergie thermique ou pour la propulsion des bateaux. Dans les systèmes de cogénération - c'est-à-dire utilisant à la fois la chaleur de traitement (celle utilisée lors d'un processus industriel) et l'électricité -, la vapeur est portée à haute pression dans une chaudière, puis extraite de la turbine à la pression et à la température exigées par ce procédé. Dans ce cas, la turbine est dite à *contrepression*. Les turbines à vapeur peuvent être utilisées en cycles combinés avec un générateur de vapeur qui récupère la chaleur. Les unités industrielles sont utilisées pour entraîner des machines, des pompes, des compresseurs et des générateurs. Leur puissance nominale va de quelques centaines de Watts à plus de 1 300 MW.

La turbine à vapeur est parfois associée à une turbine à gaz. Le rendement de la turbine à gaz étant faible, elle est généralement utilisée pour la production d'énergie de pointe, les calories des gaz d'échappement de la turbine à gaz servant à faire fonctionner la chaudière de la turbine à vapeur.

II.7. GENERALITES PRINCIPAUX D'UNE CENTRALE ELECTRIQUE

L'alternateur, la turbine et le fluide qui entraîne la turbine sont les principaux éléments de production d'une source d'électricité. Ce principe peut alors être rejeté selon le fluide utilisé, eau dans les centrales hydro-électriques, vapeur dans les centrales thermiques. Dans le cas de la vapeur, il reste le choix entre la manière dont l'eau peut être chauffée, en utilisant des combustibles fossiles (centrales thermiques) ou des réactions nucléaires (centrales nucléaires). Toute la complexité technique de mise en œuvre de ces principes découle de la nécessité d'optimiser le cyclage thermique et de mettre en place des dispositifs de sécurité. [11]

II.8. PRESENTATION DE LA TURBINE A VAPEUR DE L'ENASUCRE

Il s'agit d'une turbine multi étagée à contre pression du type à action. Une turbine à contre pression est une turbine dont la pression d'échappement est plus grande ou égale à la pression atmosphérique.

Une turbine à action transforme l'énergie calorifique de la vapeur qui lui est fourni en travail utilisable sur l'arbre. Cette transformation n'est cependant pas faite directement, l'énergie calorifique étant tout d'abord convertie en énergie cinétique par détente de la vapeur, dans un aubage fixe, d'une pression à une autre pression plus faible. Il en résulte un jet de vapeur sortant de l'aubage à une très grande vitesse. Cet aubage, de par sa construction, dirige la vapeur de telle sorte qu'elle attaque l'aubage de la roue sous un angle convenable permettant d'obtenir le meilleur rendement possible. Quand il s'agit d'une turbine multi étagée telle que celle considérée ici, la détente étant utilisée dans l'aubage de la roue correspondante.

Un étage consiste en un aubage fixe contenu dans un distributeur ou diaphragme et d'une roue portant les ailettes constituant l'aubage mobile. Le premier étage de cette turbine est un étage *Curtis* et contient deux rangées d'ailettes montées sur deux roues. Un aubage redresseur est placé entre les deux rangées d'ailettes mobiles, de sorte que la vapeur à la sortie de la première rangée soit redressée pour permettre son passage dans la deuxième rangée d'ailettes avec la direction, convenable.

Chaque étage râteau comprend un aubage fixe situé dans un diaphragme et une roue simple équipée à la périphérique une rangée d'ailettes.

Les ailettes, la roue et l'arbre forment un ensemble soigneusement assemblé. La force exercée sur l'aubage produit un couple sur l'arbre entraînant du rotor.

Le rotor de la turbine est constitué de disques emmanchés, à chaud et clavetés sur l'arbre.

Les ailettes sont fixées dans une rainure périphérique du disque par leur talon usiné en «queue d'aronde». Des bandes de recouvrement en acier résistant à la corrosion sont rivées en tête des ailettes. Celles-ci sont associées en segments permettant une dilatation éventuelle. Le but de la bande de recouvrement est essentiellement de limiter toute fuite de vapeur susceptible de se produire. De plus, elle augmente la résistance et la rigidité du groupe d'ailettes.

Le rotor est porté par deux paliers à coussinets munis de métal anti-friction. Les coussinets sont à sièges sphériques pour permettre l'auto alignement de l'arbre ou du type à coquille et sont lubrifiés sous pression.

Le positionnement axial du rotor dans le corps de turbine est assuré par une butée à simple collier type largement dimensionnée et dont le rôle est d'absorber la poussée résiduelle. Cette butée est placée dans le palier, coté admission, la butée étant continuellement baignée par l'huile.

Des bagues d'étanchéité en carbone sont placées dans les boîtes d'extrémité, aux sorties d'arbre, de façon à éviter les fuites de vapeur au passage de l'arbre. De même, chaque diaphragme est usiné à son extrémité pour recevoir un anneau de carbone afin de réduire la fuite de vapeur au minimum le long de l'arbre.

Le contrôle de la vitesse de la turbine se fait par l'intermédiaire d'un régulateur du type Woodward. Ce régulateur contrôle directement et mécaniquement l'ouverture du clapet d'admission de vapeur. La fonction de ce régulateur est de maintenir pratiquement constante la vitesse, quelque soit la charge, en ouvrant ou en fermant le clapet d'admission pour augmenter ou diminuer la quantité de vapeur admise sur les aubages.

Le régulateur de vitesse est équipé avec un récepteur pneumatique qui modifie le point de réglage du régulateur en fonction de la variation d'une pression d'air extérieure.

L'huile de lubrification est filtrée, refroidie et sa pression est réduite à 0.800 bars effectifs avant qu'elle ne passe dans les paliers et ne lubrifie les engrenages entraînant le régulateur.

Le système de déclenchement de la turbine permet de fermer l'admission de celle-ci dans les cas suivants :

- (1). Manuellement
- (2). En cas de survitesse
- (3). En cas de manque de pression d'huile
- (4). En cas d'ouverture d'une électrovalve placée sur le circuit d'huile

Quelle que soit la manière dont est actionné ce système de déclenchement, le même résultat est atteint, qui est de fermer instantanément la vanne de laminage et de sécurité.

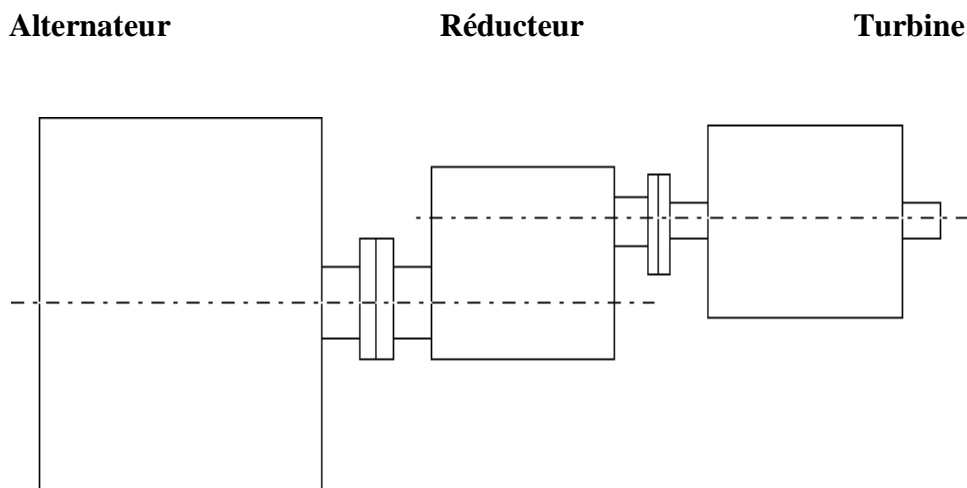


Figure II.5: La turbine, le réducteur, l'alternateur.

II.8.1. CARACTERISTIQUE DE LA TURBINE A VAPEUR

Tableau II.1 : Caractéristique de la turbine a vapeur.

Acheteur	IMPEX – ABR – BRUXELLES
Utilisateur	Sucrerie Raffinerie Guelma – Algérie
Lieu d'installation	Algérie – ENA SUCRE Guelma
Type de turbine	S.4
Machine entraînée	Alternateur 1600 Kw
Puissance et Vitesse turbine	2260 HP 6000 trs / mn
Sens de rotation	CW Vu coté régulateur
Caractéristique de vapeur à l'admission	35 kg/cm ² - 400°C
Caractéristique de vapeur à l'échappement	35 kg/cm ²

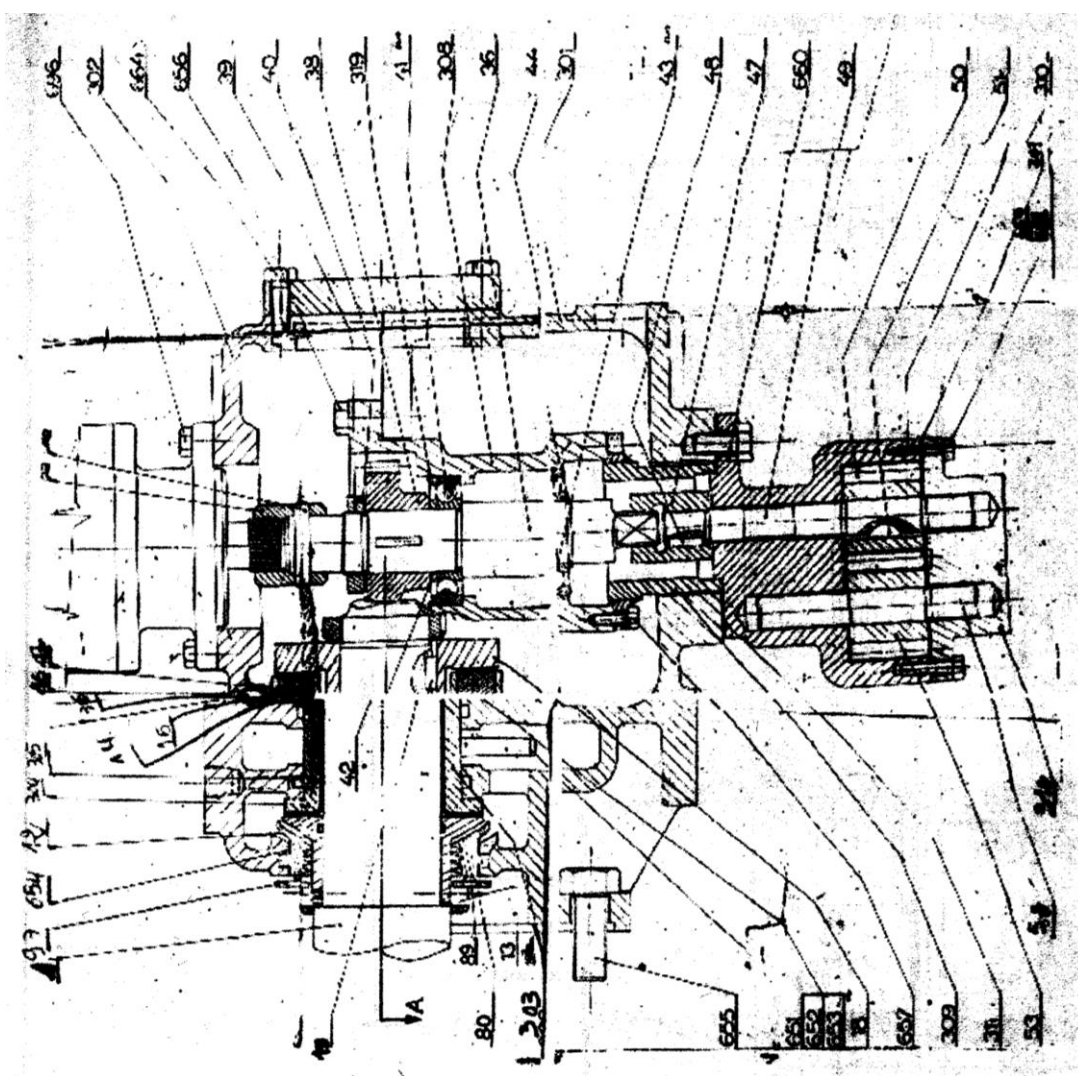
Tableau II.2 : Autres caractéristique.

Corps	Acier
Garnitures d'étanchéité	Boite Coté admission : Carbones
Boite Coté échappement	Carbones
Régulateur de vitesse	Woodward type UG.40 à action directe- moteur synchro 110 V, 50 Hz
Graissage	Sous pression
Déclenchement en survitesse	à 6900 trs/mm
Soupape avertisseur de hausse de contre pression	à 3 kg/ cm ²

CHAPITRE II: TURBINE A VAPEUR (STEAM TURBINE)

Nombre de clapets à l'admission	1 à double siège
Nombre de vannes à main	1
Jeux aux coussinets (Note : Les jeux doivent être considérés comme excessifs s'ils augmentent au delà de 0.1 mm)	Coté admission : 0.1 mm à 0.15 mm Coté échappement : 0.15 mm à 0.20 mm
Vitesse critique	3370 tr/mn
Réglage du régulateur de vitesse	Maximum 6300 tr/mn Minimum 5000 tr/mn

Le dessin d'ensemble montrant les principaux constituants de la turbine à vapeur (type S.4) est donné par la figure (II.6)



CHAPITRE II: TURBINE A VAPEUR (STEAM TURBINE)

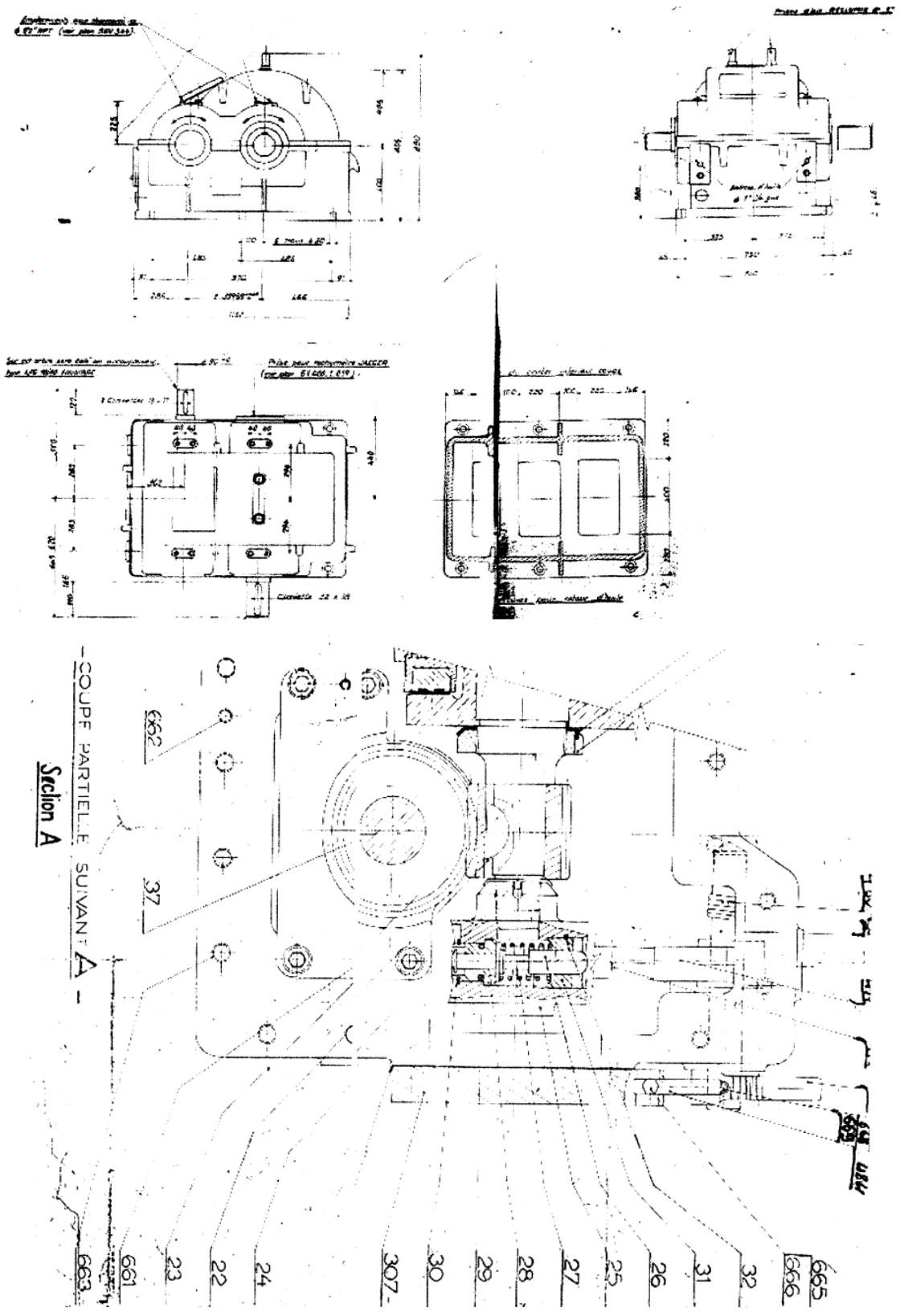


Figure II.6 : Dessin d'ensemble en coupe de la turbine à vapeur.

NOMENCLATURE GENERALE DE LA TURBINE A VAPEUR

Tableau II.3 : Déchiffre de schéma technique de la turbine à vapeur.

REPERES	DESIGNATION	MATIERE
12	Butée de coussinet	35 CD 4 f
13	Cales d'épaisseur	Clinquant
14	Siège de butée	XC 39 f
15	Cales d'épaisseur	C 20 d
16	Cage de butée	C 20 d
17	Patin de butée coté admission	XC38f-ER7U
18	Collier de butée	35 CD 4 f
19	Clavette du collier de butée	XC 38 f
20	Ecrou SKF	Acier
21	Frein d'écrou SKF	Acier
22	Vis sans fin	Acier
23	Clavette de vis sans fin	XC 38f
24	Frein d'écrou SKF	Acier
25	Boîtier de survitesse	XC 38f
26	Basse de survitesse	-2 10 C13 e
27	Ressort de la masse de survitesse	AC-CR-VA-XC65f
28	Douille de la masse de survitesse	Z 10 C 13 e "B"
29	Circlips	Acier
30	Circlips	Acier
31	Ecrou de réglage	Z 10 C 13 e
32	Téton d'arrêt	Nylon
37	Clavette de roue dentée	XC 38f
39	Ecrou SKF	Acier
41	Roulement supérieur	Acier
42	Cales de réglage	Clinquant
43	Roulement inférieur	Acier
44	Circlips	Acier
45	Accouplement régulateur	Acier
46	Goupille d'accouplement	XC 38f
47	Accouplement pour pompes a l'huile	Acier
48	Clavette d'accouplement pompes à l'huile	XC 38f
49	Arbre menant à la pompe a l'huile	XC 38f
50	Pignon menant à la pompe a l'huile	XC 38f
51	Clavette	XC 38f
52	Arbre mené de la pompe à l'huile	XC 38f
53	Pignon mené de la pompe à l'huile	XC 38f
80	Bague d'arrêt d'huile	Bronze SAE 64
89	Entretoise du protecteur d'air	Acier

CHAPITRE II: TURBINE A VAPEUR (STEAM TURBINE)

97	Protecteur d'air	A 42 T10
301	Corps inférieur de palier coté admission	FT 30
302	Corps supérieur de palier coté admission	FT 30
303	Demi-coussinet inférieur	UE12p+ER7u.ER10-ER7u
304	Demi-coussinet supérieur	Spécif.
305	Pied de blocage du siège de butée	UE12p+ER7u.ER10-ER7u
307	Couvercle de palier	Stubbs Acier
308	Cage de roulement du palier régulateur	FT 30
309	Guide de pompes	A/S/S
310	Corps de pompes a l'huile	FT30
311	Joint	551 JP
312	Couvercle de pompes a l'huile	FT 30
313	Joint	551 JP
319	Circlips	Acier
477	Lavier inférieur de survitesse	Acier
478	Lavier de déclanchement	Duraniokel-
480	Axe de lavier de survitesse	-XC38f
482	Ressort sur axe de lavier de survitesse	XC65f-
483	Lavier de survitesse	A48M3S – XC32f-Z10C 13e
484	Lamelle du lavier extérieur de survitesse	XC 65f
651	Vis	XC 38f
652	Goupille	XC 38f
653	Pied de centrage	Stubbs
654	Vis sans tête	XC 38f "B"
655	Goujon (fixation palier coté admission)	35 CD 4f-C20d
656	Vis de fixation	C 20d
657	Vis de fixation	C 20d
658	Vis de fixation	Acier matricé
659	Pied de centrage	Stubbs - XC 38f
660	Vis de fixation	Acier matricé
661	Goupille de centrage	XC 38f
662	Goupille de centrage	XC 38f
663	Vis de fixation	Acier matricé
664	Vis de fixation	AC - matricé
665	Vis de fixation	AC – matricé
666	Rondelle ZU	Acier
667	Goupille de blocage	Acier
668	Rondelle ZU	XC 38f
669	Ecrou	XC 38f
696	Vis de fixation régulateur	C 20d - XC 38f

II.8.2.EXPLOITATION DE L’HISTORIQUE

L’historique des pannes et d’interventions enregistré s’étale sur une période d’environ deux ans depuis 2003 jusqu’au 2005.

Le traitement des données brutes de l’historique (Tableau II.4) passe par :

-Le calcul des heures d’arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre les dates d’arrêt et de démarrage.

Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF) qui résultent des différences entre deux pannes successives.

-Le calcul des moyen temps de bon fonctionnement (MTBF).

Tableau II.4 : Historique des pannes de la turbine a vapeur (ENASUCRE Guelma)

Date	Causes	Durée d’arrêt + Intervention
15/2/03	Fuite à la purge du turbo	06:10
27/3/03	Pompe alimentaire	10:35
28/3/03	défaut électrique	16:30
	Défaut électrique	05:00
30/3/03	Problème à la chaudière	00:30
2/4/03	Problème à la chaudière	00:50
	Défaut électrique	07:20
6/4/03	arrêt programmé	13:10
	électrique	00:40
12/4/03	Problème à la chaudière	11:30
21/4/03	Problème à la chaudière	01:55
26/4/03	Pompe alimentaire	
27/4/03		14:55
3/5/03	arrêt programmé	06:15
17/5/03	arrêt programmé	06:00
8/6/03	Etincelles à l’alternateur	17:15
10/8/03	clapets de sécurité et de régulateur	16:30
11/8/03	Pompe alimentaire	05:50
3/9/03	Problème à la chaudière	22:30

CHAPITRE II: TURBINE A VAPEUR (STEAM TURBINE)

6/10/03	défaut électrique	14:20
8/10/03	défaut électrique	17:10
21/10/03	vibration:(équilibre; ajouter une masse)	06:00
26/10/03	clapets de sécurité et de régulateur	08:00

6/9/05	pompe de graissage auxiliaire	1:25:00
10/9/05	défaut électrique	5:10:00
	problème chaudière	4:35:00
11/9/05	problème chaudière	7:55:00
	problème chaudière	4:20:00
	cause indéfinie	2:25:00
16/9/05	défaut Disjoncteur	1:40:00
	défaut Disjoncteur	1:05:00
	défaut Disjoncteur	3:15:00
26/9/05	problème chaudière	1:50:00
	problème chaudière	4:20:00
27/9/05	problème chaudière	4:35:00

II.9. CONCLUSION

Après présentation de la turbine, ses différents types et son rôle principe de fonctionnement et caractéristiques de performances ; nous avons présenté dans ce chapitre, l'historique des pannes rencontrées au cours de l'utilisation du matériel, pour lequel, nous avons remarqué que les pannes sont diverses et causent des temps d'arrêts qui varient d'une panne à une autre et qu'il n'est pas facile d'en faire la priorité d'intervention des agents de la maintenance, c'est pour cette raison, nous nous sommes intéressés à l'étude des causes et les types de pannes et par conséquent comment les réduire et diminuer la probabilité des pannes de la turbine.

Pour ce fait, dans le prochain chapitre, nous allons utiliser deux types d'analyses, dont la première appelée FMD, consacrée à l'étude de la fiabilité, maintenabilité et disponibilité de la turbine. La deuxième analyse appelée, ABC sera réservée à l'étude des actions prioritaires d'intervention.

CHAPITRE III:ETUDE STATISTIQUE DE L'HISTORIQUE DES
PANNES DE LA TURBINE A VAPEUR

III.1. INTRODUCTION

Après la présentation de l'historique des pannes enregistrées sur toute la durée d'exploitation de la turbine, nous allons procéder à l'étude et à l'analyse des données.

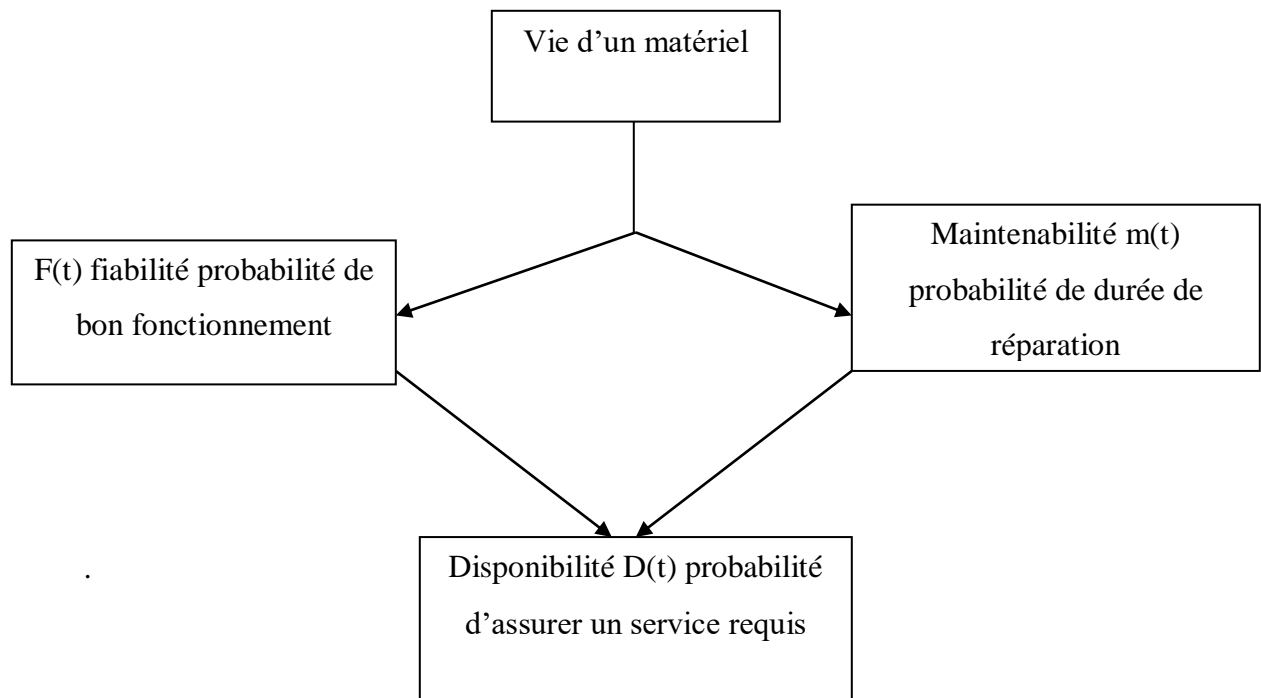
Le présent chapitre sera réservé à une première étude (analyse), appelée la fiabilité, maintenabilité et disponibilité (**FMD**) de la turbine, dans laquelle la **Fiabilité** sera déterminée tout en calculant les temps de bon fonctionnement (**TBF**) ainsi que les taux de défaillances, cette première étape est appelée Analyse de défaillance. Dans la deuxième étape on fait une analyse de **Maintenabilité** (réparation) tout en déterminant les temps techniques de réparation (**TTR**) de chaque panne. La troisième étape de l'analyse c'est la synthèse des deux premières, dans laquelle on a étudié la **Disponibilité** de la machine.[12]

La deuxième étude a été réservée à l'analyse des types des pannes, leurs origines et leurs natures en utilisant la méthode **ABC** dans le rôle principal est de déterminer la zone prioritaire d'intervention.

III.2. GENERALITES

III.2.1. RELATION ENTRE LES DEFERENTS PARAMETRES DE LA FMD

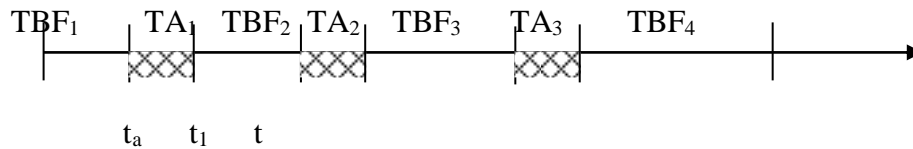
(Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)



Ces trois concepts sont envisagés soit de façon prévisionnelle. (Avant usage) soit de façon opérationnelle (pendant ou après usages).

Les trois fonctions précédentes notées respectivement $F(t)$. $M(t)$. $D(t)$ sont des fonctions du temps. Il apparaît indispensable de préciser la notion du temps en maintenance par référence à la norme x60-015.

La vie d'une machine



TBF : temps de bon fonctionnement

Ta : temps d'arrêt

Ces durées peuvent être observées ou estimées.

Une partie (variable) des temps d'arrêt (TA) est constituée des TTR (temps techniques de réparation).



III.2.2. NOTIONS DE FIABILITE

III.2.2.1. GENERALITES

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à fonctionner sans incidents pendant un temps donné.

La non-fiabilité augmente les coûts d'après-vente, application des garanties, frais judiciaires, etc. Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

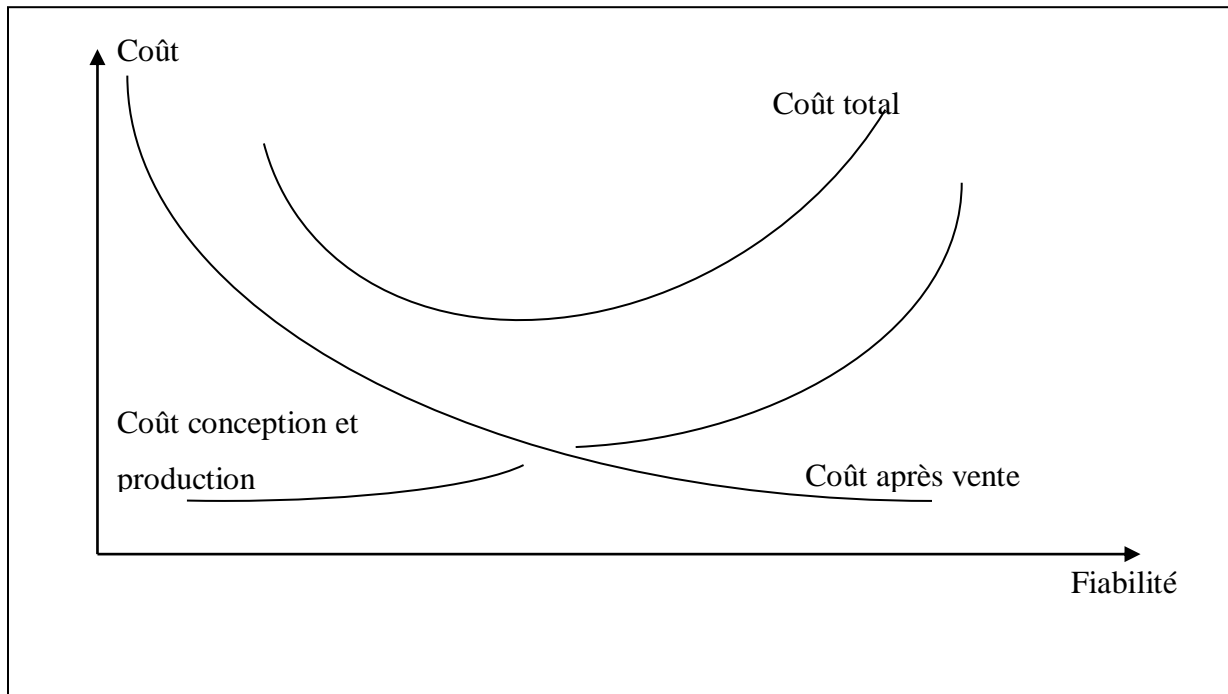


Figure III.1: Evolution des coûts en fonction de l'augmentation de la fiabilité

Remarques

- La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de chaque composant. Plus les composants sont nombreux ou complexes est plus la fiabilité est difficile à maîtriser.
- Une très haute qualité pour chaque composant n'entraîne pas nécessairement une grande fiabilité. Après assemblage les interactions qui se produisant diminuent la capacité de l'ensemble.
- Une grande fiabilité sous certaines conditions n'implique pas une grande fiabilité sous d'autres conditions.

III.2.2.2. DEFINITIONS

1- Fiabilité (F) : c'est la probabilité ($0 \leq F \leq 1$) qu'a un produit d'accomplir de manière satisfaisante une fonction requise sous des conditions données et pendant une période de temps donnée.

2-Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF)

Taux de défaillances ou taux d'avaries (λ) : il représente le pourcentage de défaillances pendant un temps donné.

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{Durée totale de bon fonctionnement}}$$

Les unités sont : le nombre de défaillances par heure, le pourcentage de défaillance pour 1000 heures.

Remarque : la durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

Un produit ayant $10^{-7} < \lambda < 10^{-5}$ pour 1000 heures (ou $10^{-4} < \lambda < 10^{-2}$ par heure) présente un bon niveau commercial de fiabilité.

MTBF (Mean Time Between Failures) temps moyen entre défaillances.

$$MTBF = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

3-Allures typiques du taux de défaillance λ

Plusieurs fonctions ou modèles statistiques peuvent être utilisés pour représenter $\lambda(t)$ qui peut être constant, croissant ou décroissant au cours du temps t . Pour la majorité des produits industriels, les variations de (λ) t au cours du temps (sortes de courbes en baignoire) présentent trois zones typiques.

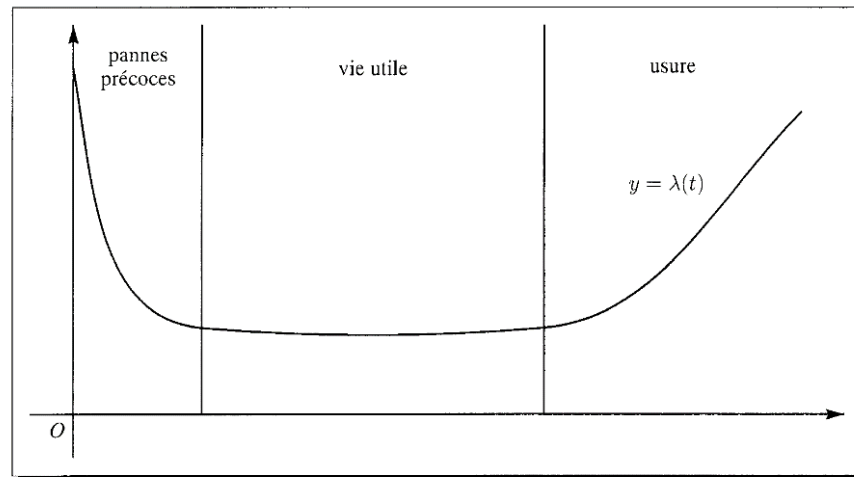


Figure III.2: Courbe en baignoire

Zone 1 (Début de la vie du produit : Pannes précoces) : les défaillances sont dites de jeunesse (composants neufs avec défauts de fabrication. $\lambda(t)$ décroît avec le temps.

Zone 2 (Maturité ou pleine activité du produit : Vie Utile) : $\lambda(t)$ est sensiblement constant. C'est le domaine des défaillances imprévisibles ou aléatoires.

Zone 3 (Vieillesse du produit : Usure) : les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants. $\lambda(t)$ croît avec le temps du fait de la dégradation du matériel (usure mécaniques, fatigue, dérive des composants électroniques...). Les lois de fiabilité utilisables sont : loi normale, Gamma, log normale ou Weibull. La durée de vie usuelle d'un produit s'arrête au début de la zone 3.

Remarque : Dans le cas des équipements mécaniques $\lambda(t)$ la courbe est légèrement croissante dans la zone 2 par rapport à celle des équipements électroniques.

III.2.3. MAINTENABILITE ET MAINTENANCE

III.2.3.1. DEFINITIONS

a) maintenance : cette fonction consiste à faire revenir (dépannage ou réparation) ou à maintenir (action préventive) tout dispositif dans son état de fonctionnement normal. Elle s'exprime au moyen de la maintenabilité.

b) maintenabilité : Elle traduit la probabilité de remettre un système en état de fonctionner, en un temps donné, dans des conditions données et en retrouvant la fiabilité initiale. Elle s'exprime à l'aide du **MTTR** Augmenter la maintenabilité d'un produit c'est le rendre le plus facilement réparable.

c) Indicateurs ou critères de maintenabilité (MTTR) et (μ)

MTTR (Mean Time To Repair) moyenne des temps de réparation

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Somme des temps de Réparation}}{\text{Nombre de Réparation}} = \text{Temps moyen d'une réparation}$$

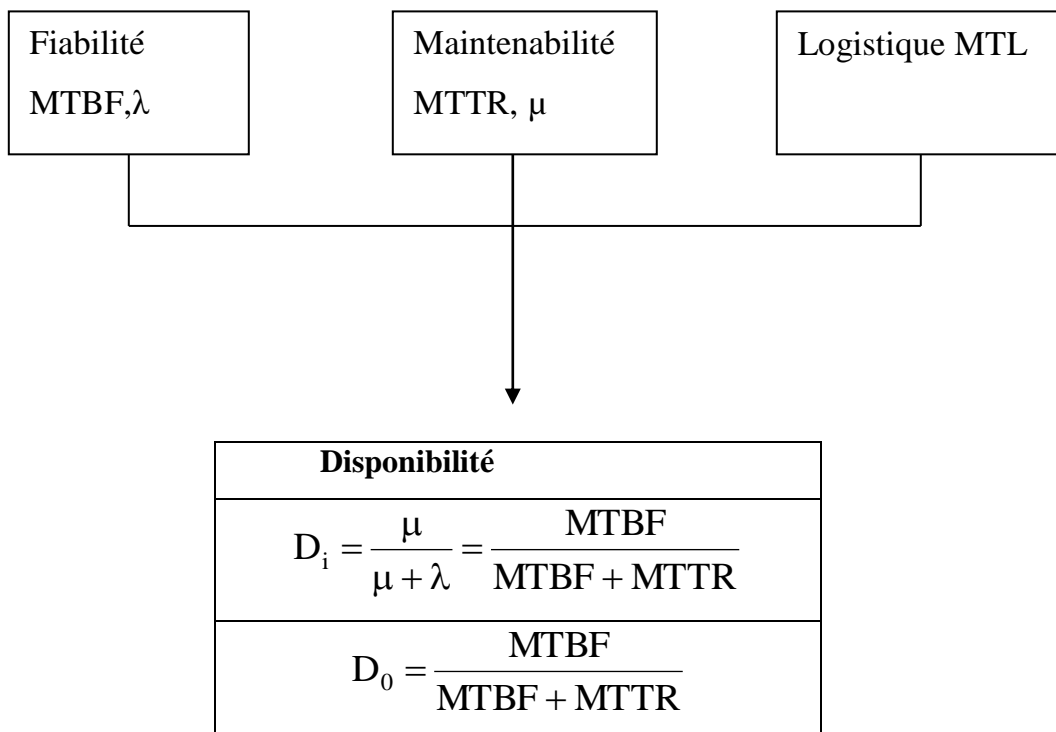
d) Taux de réparation (μ) :

Si μ est constant au cours du temps alors $\mu = 1/\text{MTTR}$

III.2.4. DISPONIBILITE

Elle traduit l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionner dans des conditions données. Elle met en évidence l'aptitude à la réparation d'un dispositif en mesurant l'efficacité de la maintenance.

Une haute disponibilité exige une excellente fiabilité (peu de défaillance), une bonne maintenabilité (une grande rapidité ou de remise en état) et une bonne logistique de maintenance (bonnes procédures d'entretien et de réparation, des moyens en personnel, des stocks de composants).



III.2.4.1. DEFINITIONS

a) Taux de disponibilité (D)

$$D = \frac{\text{Temps d'utilisation et temps d'attente}}{\text{Temps d'utilisation et temps d'attente} + \text{Temps de maintenance}}$$

b) Disponibilité intrinsèque D_i

Elle exclut la maintenance préventive, les délais logistiques (attentes fournitures...) et les délais administratifs.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

c) Disponibilité opérationnelle D_o

Elle prend en compte les délais logistiques avec le MTL (Moyenne des Temps Logistiques de maintenance).

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTTL}$$

III.3.APPLICATION DE L'ANALYSE FMD POUR L'ETUDE DU COMPORTEMENT

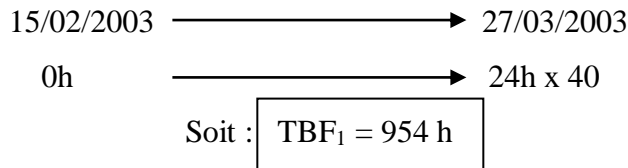
DE LA TURBINE A VAPEUR

III.3.1. ETUDE DE FIABILITE

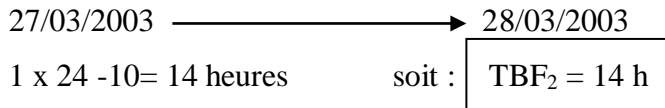
A partir de l'historique des pannes donné précédemment et pour pouvoir étudier la fiabilité de La machine, il est nécessaire de déterminer les temps de bon fonctionnement entre les différentes pannes durant toute la période d'exploitation et cela en prenant en considération la charge moyenne de travail et le temps d'arrêt de chaque panne. Connaissant les temps d'arrêt qui sont mentionnés dans l'historique et en sachant que le temps effectif de travail journalier de l'entreprise est de 24 heures par jour (production continue de l'énergie électrique nécessaire pour l'usine), il est facile de calculer les TBF entre les différentes pannes.

a) Calcul des temps de bon fonctionnement (TBF)

Si on prend la période étendue entre deux pannes successives, et sachant que les agents de l'entreprise travaillent vingt-quatre heures par jour, et en tenant compte des jours de repos et fériés, on aura :



Pour le calcul du temps de bon fonctionnement qui suit, on doit tenir compte des temps d'arrêt enregistrés après la précédente panne, et cela en ajoutant le nombre d'heures d'arrêt à la dernière date :



Après tout calcul fait, les TBF seront données par le Tableau III.1 suivant.

Tableau III.1 : les temps de bon fonctionnement.

TBF ₁ =954 h	TBF ₇ =209 h	TBF ₁₃ =18 h	TBF ₁₉ =10 h	TBF ₂₅ =19 h
TBF ₂ =14 h	TBF ₈ =107 h	TBF ₁₄ =42 h	TBF ₂₀ =7 h	TBF ₂₆ =112 h
TBF ₃ =31 h	TBF ₉ =23 h	TBF ₁₅ =7 h	TBF ₂₁ =306 h	TBF ₂₇ =236 h
TBF ₄ =67 h	TBF ₁₀ =132 h	TBF ₁₆ =487 h	TBF ₂₂ =112 h	TBF ₂₈ =22 h
TBF ₅ =95	TBF ₁₁ =334 h	TBF ₁₇ =18	TBF ₂₃ =1560 h	TBF ₂₉ =46 h
TBF ₆ =143 h	TBF ₁₂ =465 h	TBF ₁₈ =745	TBF ₂₄ =19 h	TBF ₃₀ =574 h

Afin de faciliter le calcul et les interprétations ainsi que les recommandations éventuelles. Pour une meilleure étude de fiabilité, nous avons préféré faire l'étude par période ce qui nous a conduit à déterminer les moyens de temps de bon fonctionnement **MTBF** correspondant à un nombre donné de pannes.

b) Calcul des moyennes des temps de bon fonctionnement (MTBF)

Après tout calcul fait, les MTBF seront données par le Tableau III.2 suivant :

$$* \text{MTBF}_1 = \frac{\text{TBF}_1 + \text{TBF}_2 + \text{TBF}_3}{3} = 333 \text{ heures}$$

Tableau III.2 : moyennes des temps de bon fonctionnement.

MTBF ₁ =333 h	MTBF ₂ =102 h	MTBF ₃ =113 h	MTBF ₄ =310 h	MTBF ₅ =23 h
MTBF ₆ =417 h	MTBF ₇ =108 h	MTBF ₈ =563 h	MTBF ₉ =123 h	MTBF ₁₀ =214 h

c) Représentation graphique des MTBF

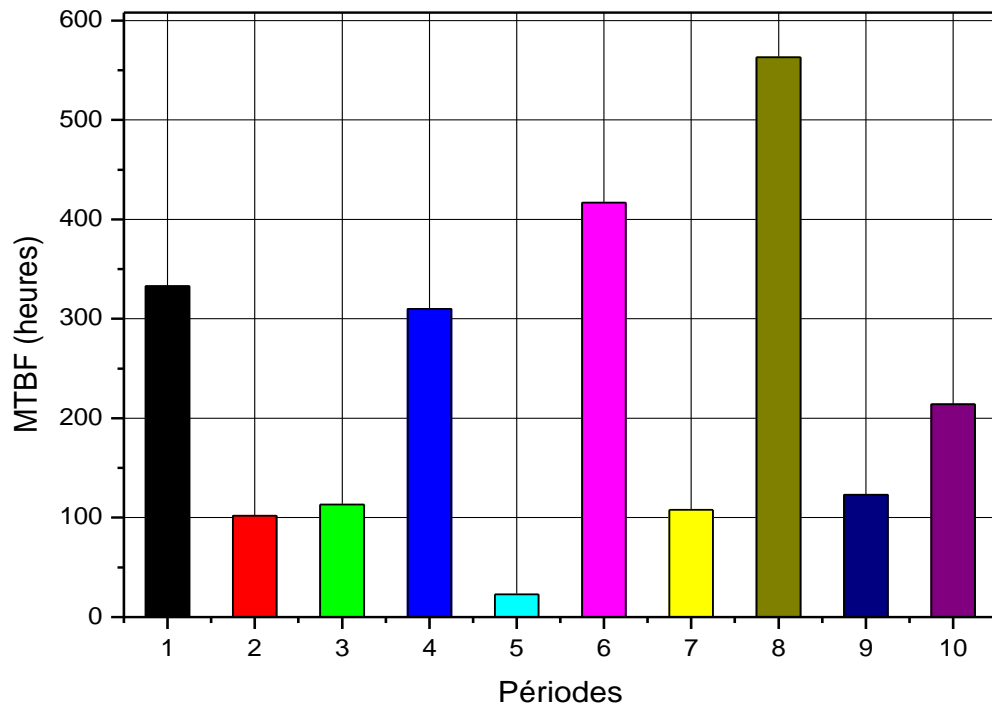
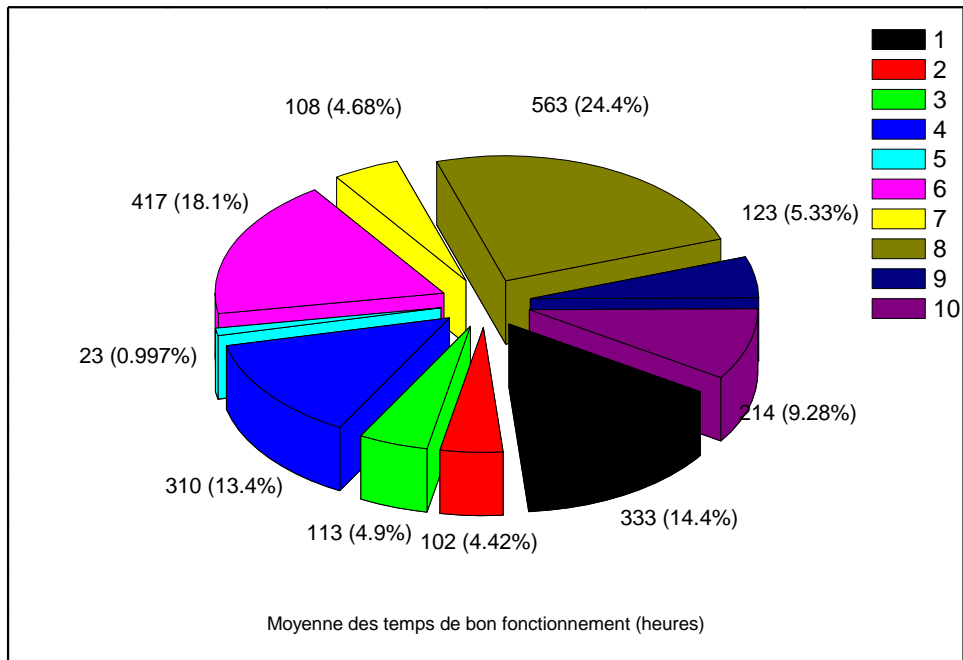


Figure III.3 : Histogramme des MTBF en fonction du temps (périodes).

d) Interprétation

La représentation graphique des moyennes de temps bon fonctionnement (MTBF) en fonction des périodes d'exploitation de la turbine à vapeur nous a permis de bien distinguer, les périodes dans lesquelles la machine a été le mieux exploiter, de celles dans lesquelles a été le moins utilisé.

Ainsi, nous pouvons dire que dans les périodes une, quatre, six et huit la turbine a bien servi l'usine puisque les arrêts enregistrés sont limités. Ce qui a augmenté son temps de fonctionnement.

En ce qui concerne les autres périodes pour lesquelles nous avons enregistré une remarquable diminution du temps de bon fonctionnement notamment pour la période cinq (23 heures qui représente moins de 1% de l'ensemble des TBF) nous pouvons dire que ces périodes correspondent aux phases des arrêts aléatoires ce qui nécessite un contrôle rigoureux de la turbine.

e) Taux de défaillance

Parmi les facteurs les plus importants dans l'étude de fiabilité c'est le taux de défaillance (nombre de pannes par heure) dont la valeur donne d'une façon significative un aperçu sur le rendement et l'état de la turbine et qui influe directement sur la durée de vie des éléments qui le constituent. Connaissant les moyennes des temps de bon fonctionnement de chaque période, Il est facile de calculer les taux de défaillances correspondantes et d'étirer la conclusion.

f) Calcul des taux de défaillance ($M\lambda_i$)

* le taux de défaillance par période est donnée par $M\lambda_i = 1/MTBF_i$

$$M\lambda_1 = \frac{1}{MFBF_1} = \frac{1}{333} = 0.3010^{-2} \text{ Pannes / heure}$$

Après tout calcul fait les $M\lambda_i$ seront données par le tableau III.3 suivant :

Tableau III.3 : taux de défaillance ($M\lambda_i$).

$M \lambda_1=0.30 \times 10^{-2}$	$M \lambda_2=0.98 \times 10^{-2}$	$M \lambda_3=0.88 \times 10^{-2}$	$M \lambda_4=0.32 \times 10^{-2}$	$M \lambda_5=4.34 \times 10^{-2}$
$M \lambda_6=0.23 \times 10^{-2}$	$M \lambda_7=0.92 \times 10^{-2}$	$M \lambda_8=0.03 \times 10^{-2}$	$M \lambda_9=0.81 \times 10^{-2}$	$M \lambda_{10}=0.46 \times 10^{-2}$

g) Représentation graphique des taux de défaillance

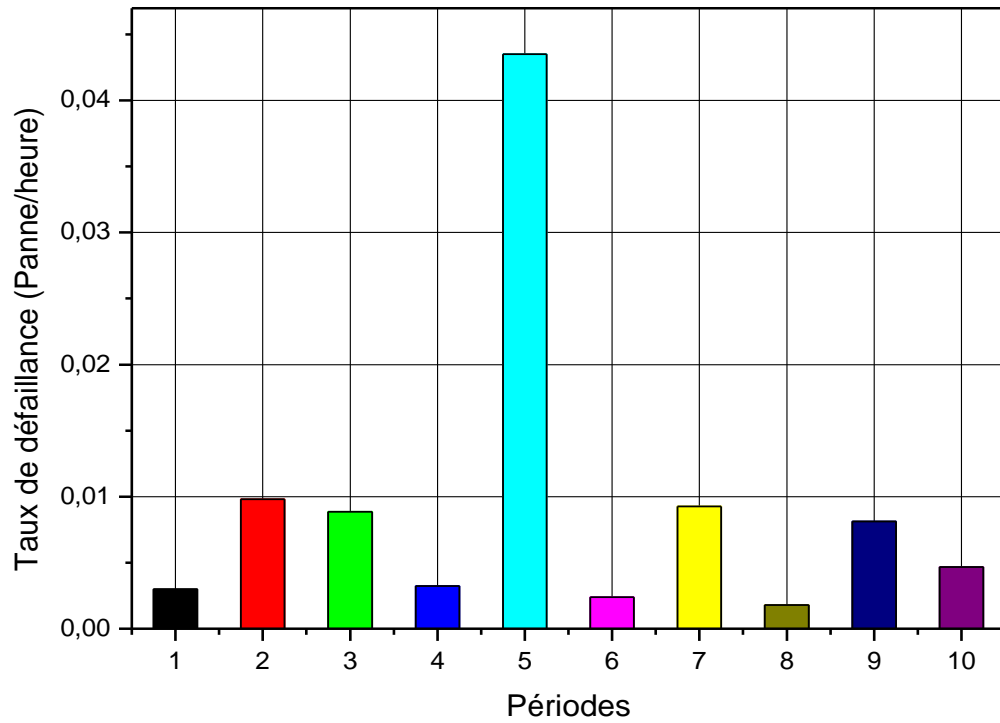
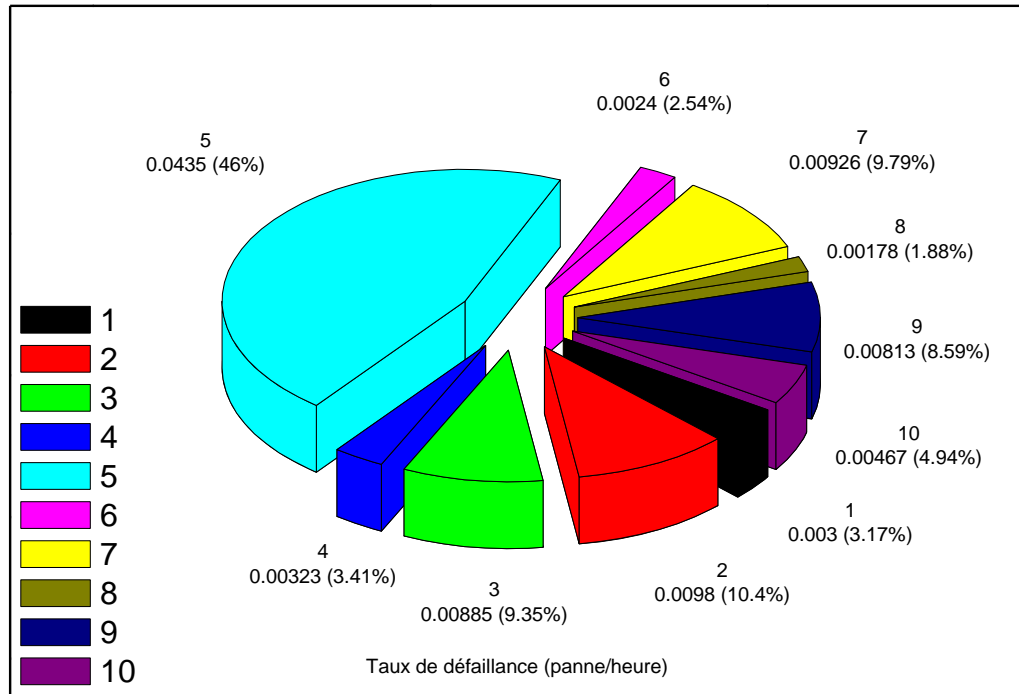


Figure III.4 : Histogramme des taux de défaillance.

Interprétation :

Le taux de défaillance en fonction des périodes d'exploitation est donné par la figure III.4. La première conclusion qu'on peut tirer à partir de cet histogramme c'est que le taux de défaillance est faible et sensiblement constant au cours des quatre premières périodes (période 1 représente 3.17%, période 2 représente 10.4%, période 3 représente 9.35% et la période 4 représente 3.14%). Dans la cinquième période on enregistre le taux de défaillance le plus élevé durant toutes les périodes d'exploitation de la turbine (46%). A partir de la sixième période, le taux de défaillance commence à devenir relativement faible par rapport à la cinquième période. Suite à ces constatations nous pouvons qu'il est difficile de dire dans quelle période de vie se trouve la turbine actuellement. On verra plus tard de quelle période s'agit-il.

h) Présentation du logiciel FIABOPTIM

Dans cette analyse on va utiliser le logiciel FiabOptim.

FIABOPTIM© est un logiciel destiné à l'analyse numérique et graphique des données de fiabilité. Il permet, à partir de données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié pour les dates (temps, cycles, km, etc....) désirées.

Le logiciel opère à partir d'un fichier où sont stockées les données de fiabilité. Vous pouvez enregistrer les données que sous format .OFI pour les données individuelles. Si vos données ne sont pas encore enregistrées, vous devez les saisir à l'aide d'une fenêtre de saisie (bouton Saisie).

Vous pouvez vérifier la saisie des données de type individuelles en cliquant sur le bouton Affichage, et même les corriger à partir de ce tableau.

Dans l'étude individuelle, consiste à choisir une méthode parmi celles proposées en fonction du module choisi. Vous pouvez analyser les résultats de différentes façons :

- Estimation réalisée suivant la méthode choisie. (Estimation par la méthode de : Johnson Rangs Moyens)
- Calculs et tests pour la loi choisie. (La loi qui est acceptable si Loi de Weibull avec Gamma)
- Graphiques fonctionnels et de probabilité en fonction de la Loi de Weibull avec Gamma.

Application du modèle de WEIBULL

Etant donné que le modèle de Weibull est le plus complet, nous l'avons appliqué pour la turbine.

Calcul des paramètres de WEIBULL

Le tableau suivant comporte les MTBF classés par ordre croissant :

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MTBF	22	101	107	113	122	214	310	333	416	563

L'utilisation du logiciel FIABOPTIM nous a permis de déterminer aisément les trois coefficients du modèle de Weibull.

La détermination des paramètres du modèle de Weibull à partir de la méthode de l'actuariat est faite aisément par l'introduction des différents MTBFs ainsi que le choix des méthodes de résolution du problème dans le logiciel.

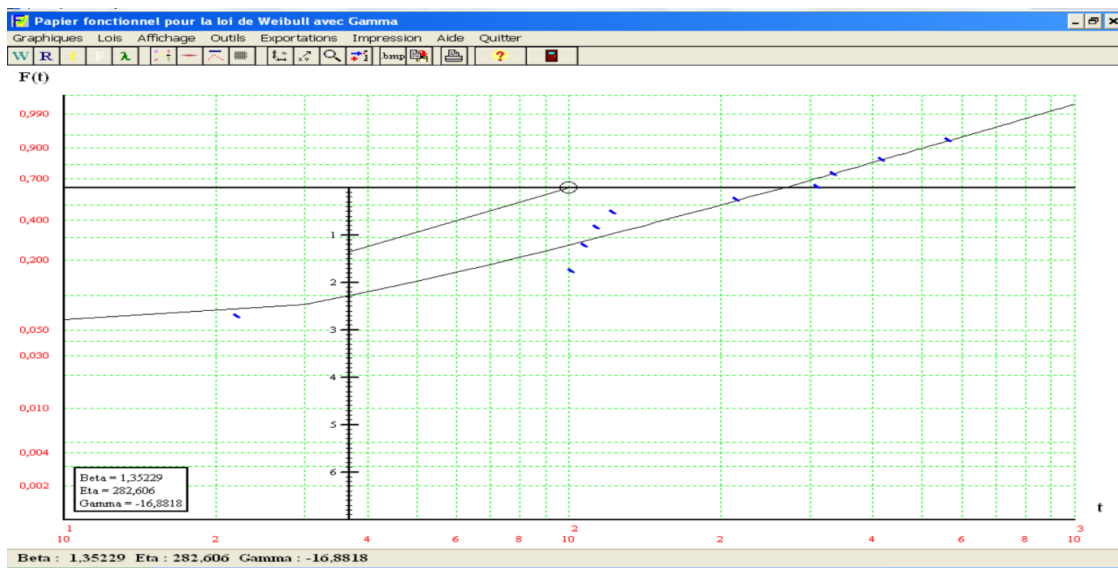


Figure III.5 : Papier de Weibull et les différents paramètres du modèle appliqué sur la turbine à vapeur.

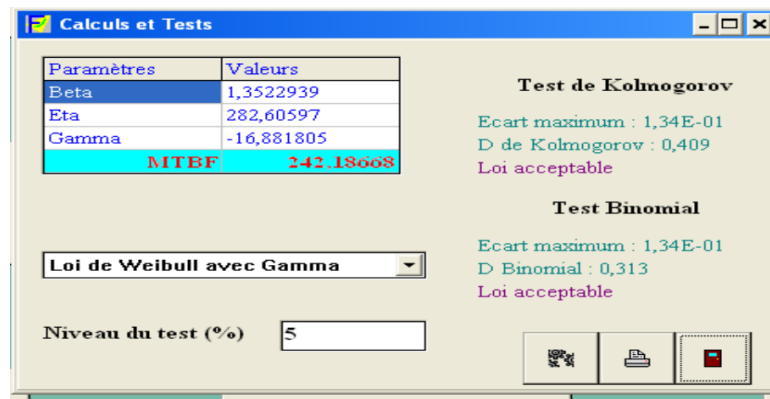
D'après le papier on a pu déterminer les paramètres de la Loi de Weibull avec Gamma : (Résultat du logiciel)

$\beta = 1.35229$. (Période de vieillesse)

$\eta = 282.606h$.

$\gamma = -16.8818h$.

MTBF= 242.26 h.



Ecart maximum : 1,34E-01 ; D de Kolmogorov : 0,409 Loi acceptable.

Lois de fiabilité :

1-La fonction de fiabilité est donnée par l'équation de R(t) :

On a : $t=MTBF=242.26$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t+16.8818}{282.606}\right)^{1.35229}}$$

$$R(t = MTBF) = 0.289 = 28.9\%$$

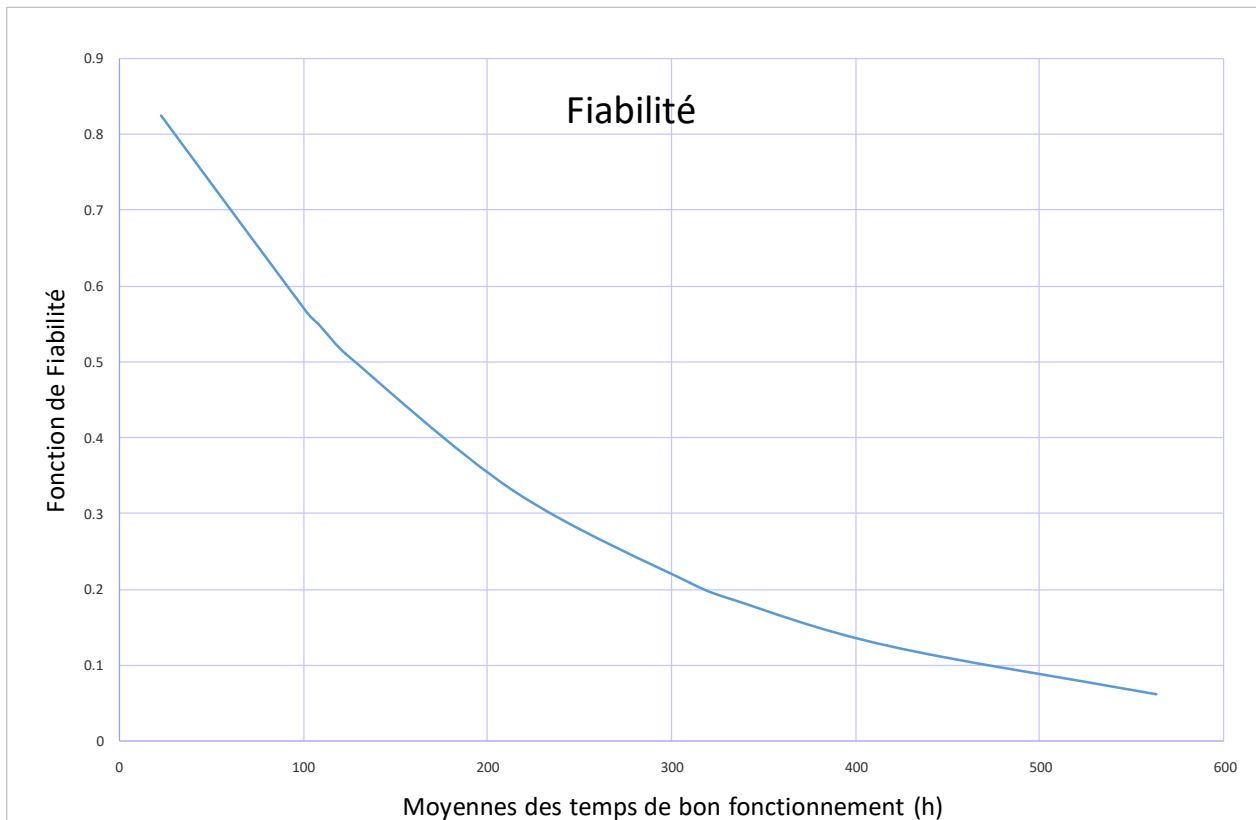


Figure III.6 : Fonction de fiabilité R(t).

Interprétation :

La figure III.6 représente la variation de la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction des moyennes de temps de bon fonctionnement de la turbine à vapeur, qui est décroissante avec le temps ce qui est de même pour la probabilité de bon fonctionnement.

En plus, la valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 28.9% ce qui implique que la turbine à 28.9% de chance de vivre jusqu'à la MTBF ce qui la rend moins fiable.

2- La deuxième loi de fiabilité est la fonction de défaillance (fonction de répartition) $F(t)$.

Son expression est la suivante :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t+16.8818}{282.606}\right)^{1.35229}}$$

Pour ($t=MTBF$) : $F(t = MTBF) = 0.7106 = 71\%$

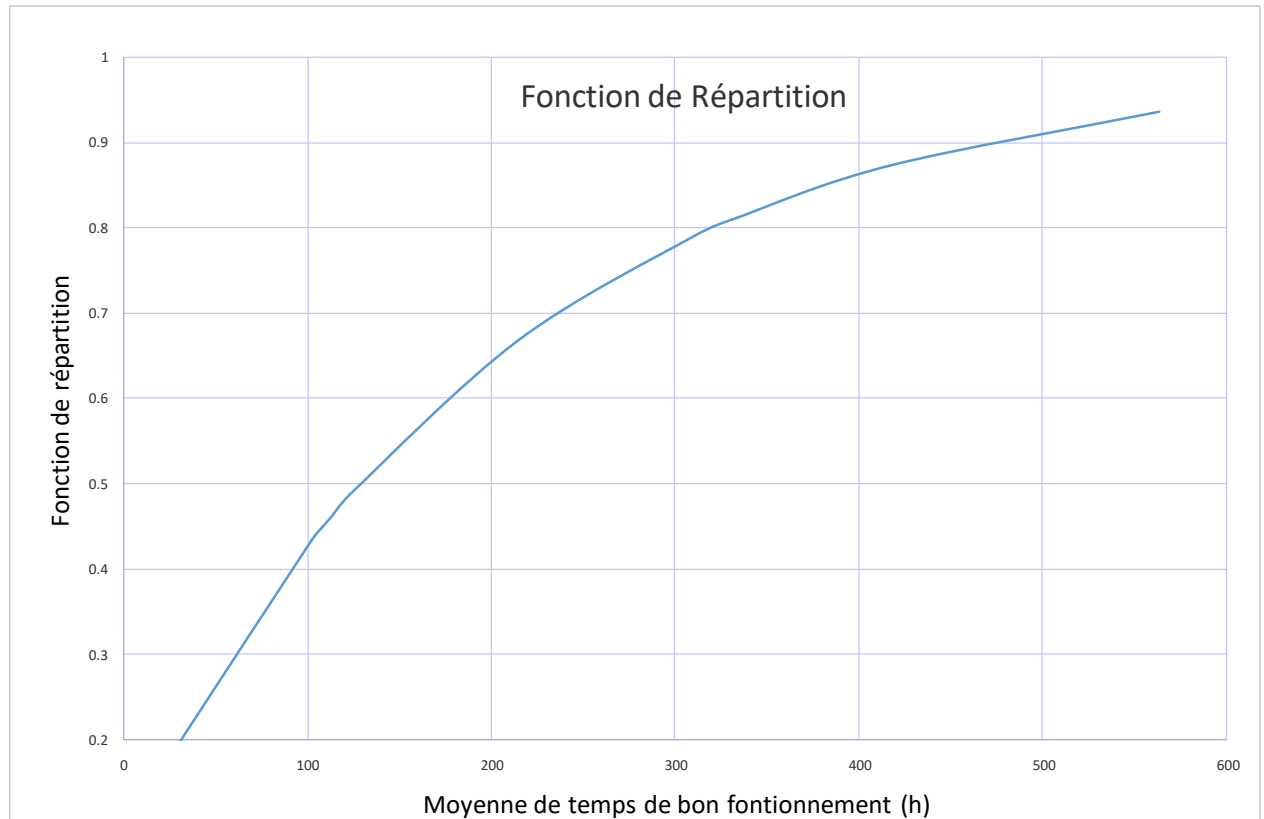


Figure III.7 : Fonction de défaillance $F(t)$.

Interprétation :

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d'avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$

est égale à 71%, ce qui implique que la turbine a 71% de chance d'avoir une panne avant d'atteindre la MTBF, ceci confirme le résultat précédent et l'âge de la turbine ($\beta > 1$).

3- La densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Elle permet d'estimer à n'importe quel instant la densité d'avoir une panne :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1.35229}{282.606} \times \left(\frac{t + 16.8818}{282.606}\right)^{1.35229-1} \cdot e^{-\left(\frac{t+16.8818}{282.606}\right)^{1.35229}}$$

Pour ($t=MTBF$) : $f(t=MTBF) = 0.2056 = 20.56\%$

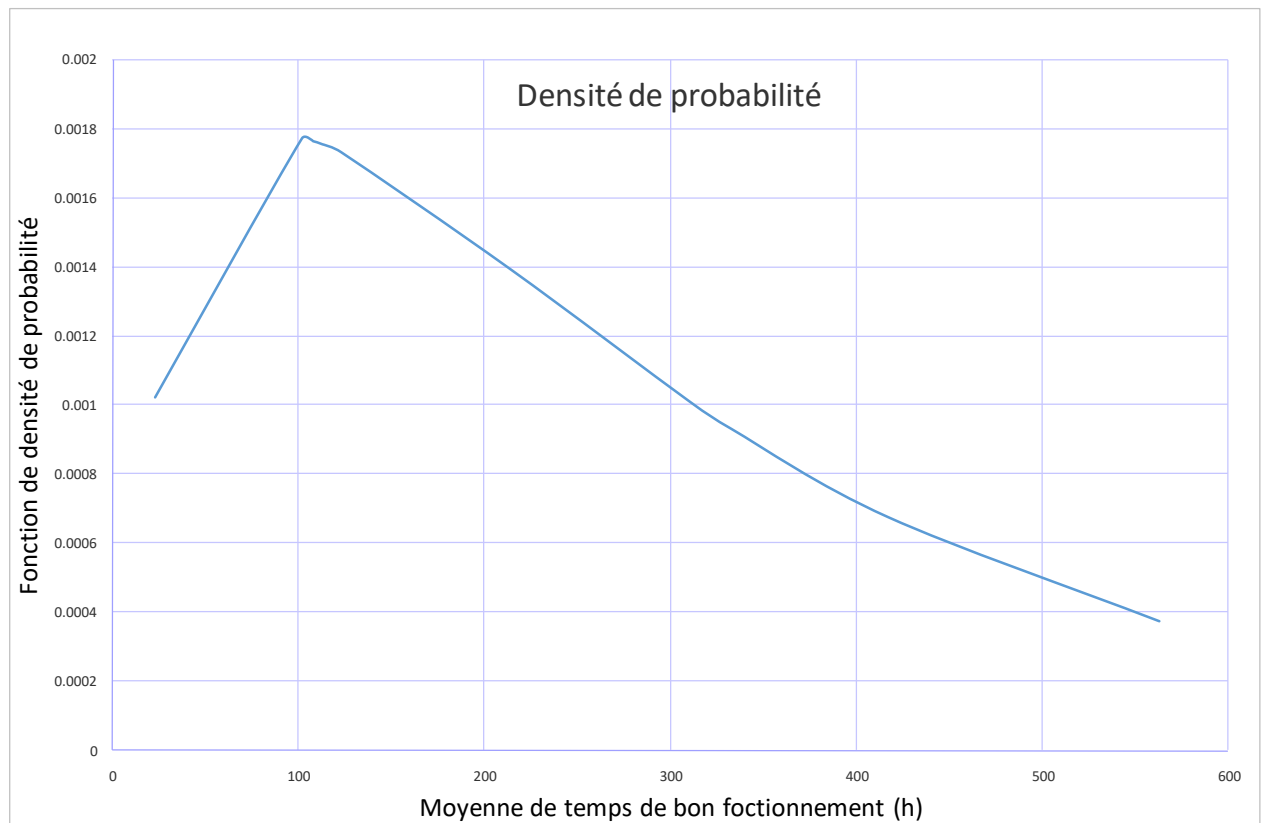


Figure III.8 : Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.

Interprétation :

Dans la figure III.8 nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui égale à 242h.

4- Enfin le taux de défaillance est donné par l'expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1.35229}{282.606} \times \left(\frac{t + 16.8818}{282.606}\right)^{1.35229-1}$$

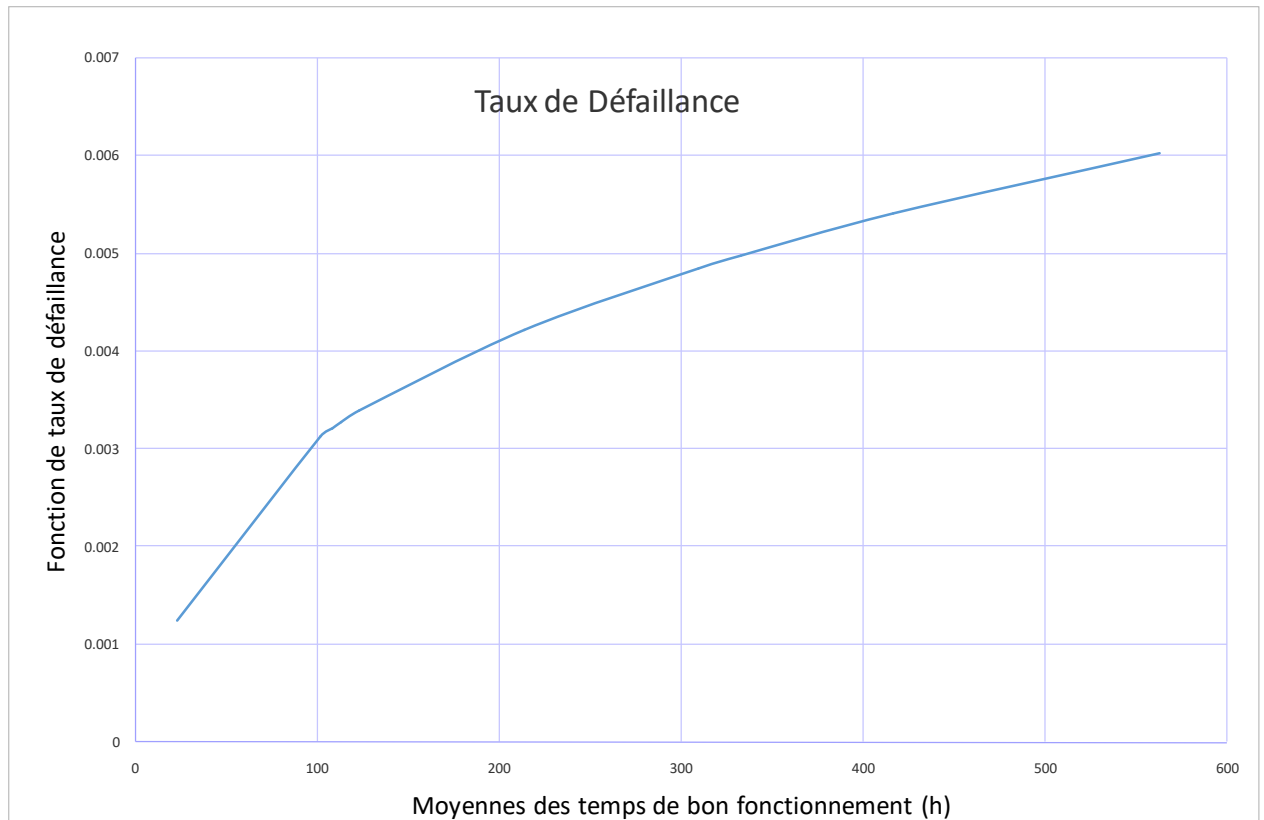


Figure III.9 : Le taux de défaillance $\lambda(t)$.

Interprétation :

Le taux de défaillance affiche une allure croissante avec le temps, ceci est expliqué par le fait que le paramètre β de la loi de Weibull est supérieur à 1 (1.35229).

En conclusion, nous pouvons dire que cette turbine est en fin période de maturité et début de vieillesse ce qui nécessite l'utilisation du type de maintenance adéquat à son âge que ce soit en préventif ou curatif.

III.3.2. ETUDE DE MAINTENABILITE

Les deux principaux indicateurs (critères) de maintenabilité sont :

Moyenne des temps techniques de réparation (MTTR), cette moyenne est calculée à la base des temps (élémentaires) techniques de réparation (TTR) pour chaque panne et cela pour une période bien déterminée ;

Taux de réparation (μ), une fois les MTTR sont connues, il est facile de calculer les taux de réparation correspondants à chaque MTTR des différentes périodes d'exploitation.

a) Tableau des temps technique de réparation (TTR)

Les différentes valeurs des TTR sont données dans le tableau III.4 suivant :

Tableau III.4 : les temps technique de réparation (TTR).

TTR ₁ =6 h	TTR ₇ =7 h	TTR ₁₃ =6 h	TTR ₁₉ =14 h	TTR ₂₅ =5 h
TTR ₂ =10 h	TTR ₈ =13 h	TTR ₁₄ =6 h	TTR ₂₀ =17 h	TTR ₂₆ =8h
TTR ₃ =17 h	TTR ₉ =1 h	TTR ₁₅ =17 h	TTR ₂₁ =6 h	TTR ₂₇ =4h
TTR ₄ =5 h	TTR ₁₀ =12 h	TTR ₁₆ =17 h	TTR ₂₂ =8 h	TTR ₂₈ =2h
TTR ₅ =1 h	TTR ₁₁ =2 h	TTR ₁₇ =6 h	TTR ₂₃ =1 h	TTR ₂₉ =2h
TTR ₆ =1 h	TTR ₁₂ =15 h	TTR ₁₈ =23 h	TTR ₂₄ =5 h	TTR ₃₀ =1h

b) Calcul des moyennes des temps techniques de réparation (MTTR) période par heure

Puisque on travaille par période nous serons toujours dans l'obligation de calculer les valeurs moyennes des TTR_i.

$$MTTR_i = \frac{TTR_i}{\text{Nbre de pannes par période}}$$

Après tout calcul fait, les MTTR_i seront données par le tableau III.5 suivant :

$$MTTR_1 = \frac{TTR_1 + TTR_2 + TTR_3}{3} = 11 \text{ heures}$$

Tableau III.5 : Moyennes des temps technique de réparation (MTTR).

MTTR ₁ =11	MTTR ₂ =3 h	MTTR ₃ =7 h	MTTR ₄ =10 h	MTTR ₅ =10 h
MTTR ₆ =16 h	MTTR ₇ =13 h	MTTR ₈ =5 h	MTTR ₉ =6	MTTR ₁₀ =2

c) Représentation graphique des moyennes des temps techniques de réparation (MTTR)

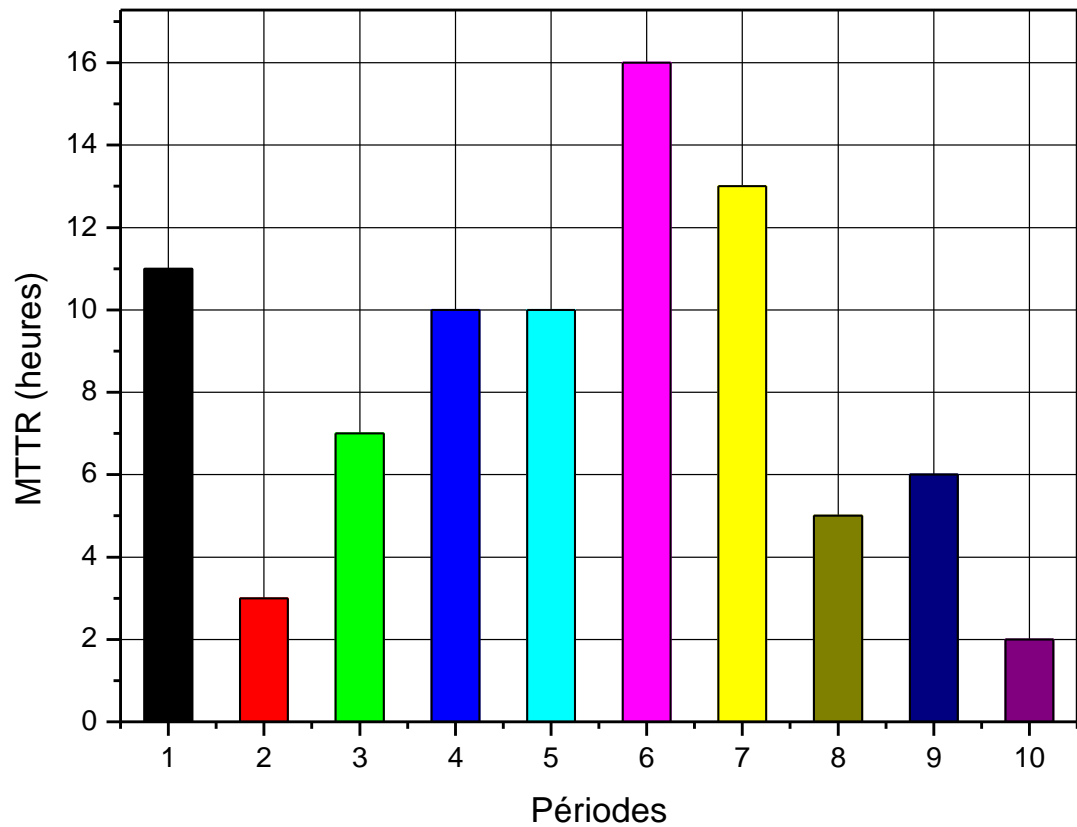
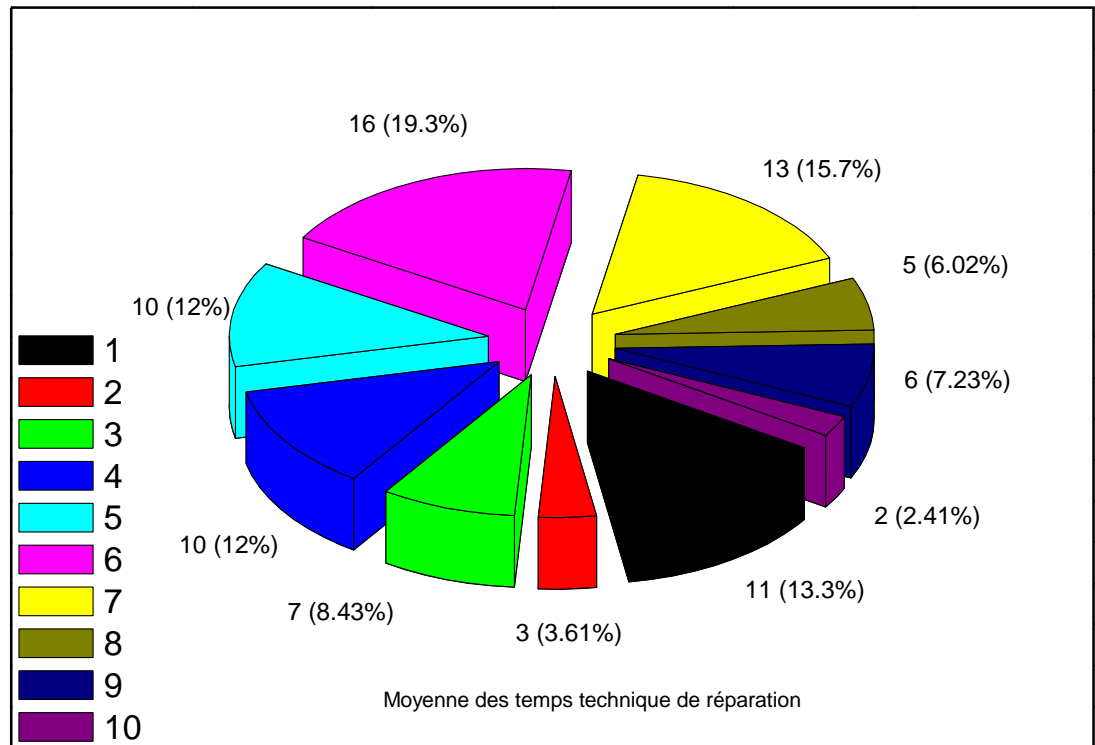


Figure III.10 : Histogramme des MTTRi.

Interprétation :

La représentation graphique des moyennes des temps techniques de réparation montre bien que dans les périodes une, six et sept consomment le plus d'argent et du temps (période une 13.3 %, période six 19.3 % et la période sept 15.7 %) par rapport aux autres périodes c'est pourquoi il est indispensable de leurs donner un peu plus d'intérêt. Pour les autres, elles sont pratiquement constantes à part la période deux et dix pour lesquelles on a enregistrées respectivement 3.61 % et 2.41 % de l'ensemble des MTTR. Ces valeurs sont acceptables bien que le nombre de pannes augmente avec le temps.

d) Calcul des taux de réparation (μ) par période

Connaissant les différentes valeurs des MTTR_i, il est facile de calculer les taux de réparation de chaque période.

Exemple de calcul: $\mu_1 = \frac{1}{MTTR_1}$

Après tout calcul fait, les valeurs des taux de réparation (μ_i) seront données par le tableau III.6 suivant :

$$\mu_1 = 1/MTTR_1 = 1/11 = 0.9 \times 10^{-1}$$

Tableau III.6 : Les taux de réparation (μ_i).

$\mu_1=0.9 \times 10^{-1}$	$\mu_2=3.33 \times 10^{-1}$	$\mu_3=1.42 \times 10^{-1}$	$\mu_4=10^{-1}$	$\mu_5=10^{-1}$
$\mu_6=0.6 \times 10^{-1}$	$\mu_7=0.7 \times 10^{-1}$	$\mu_8=2 \times 10^{-1}$	$\mu_9=1.66 \times 10^{-1}$	$\mu_{10}=5 \times 10^{-1}$

e) Représentation graphique des taux de réparation (μ)

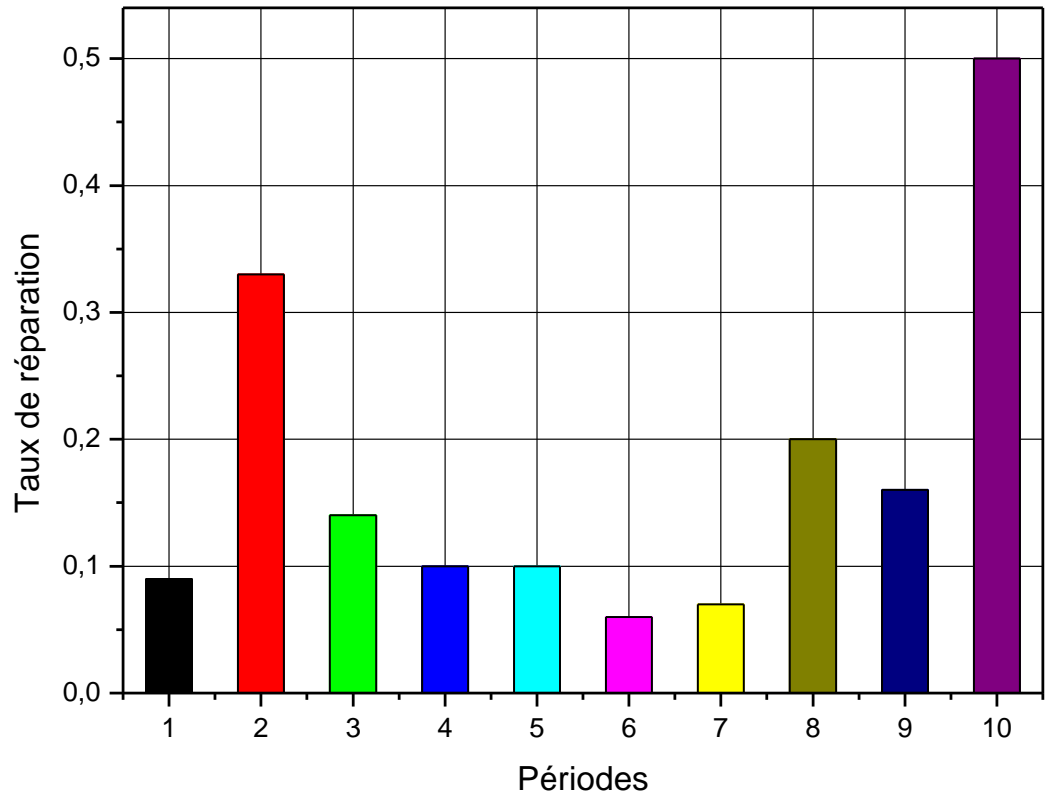
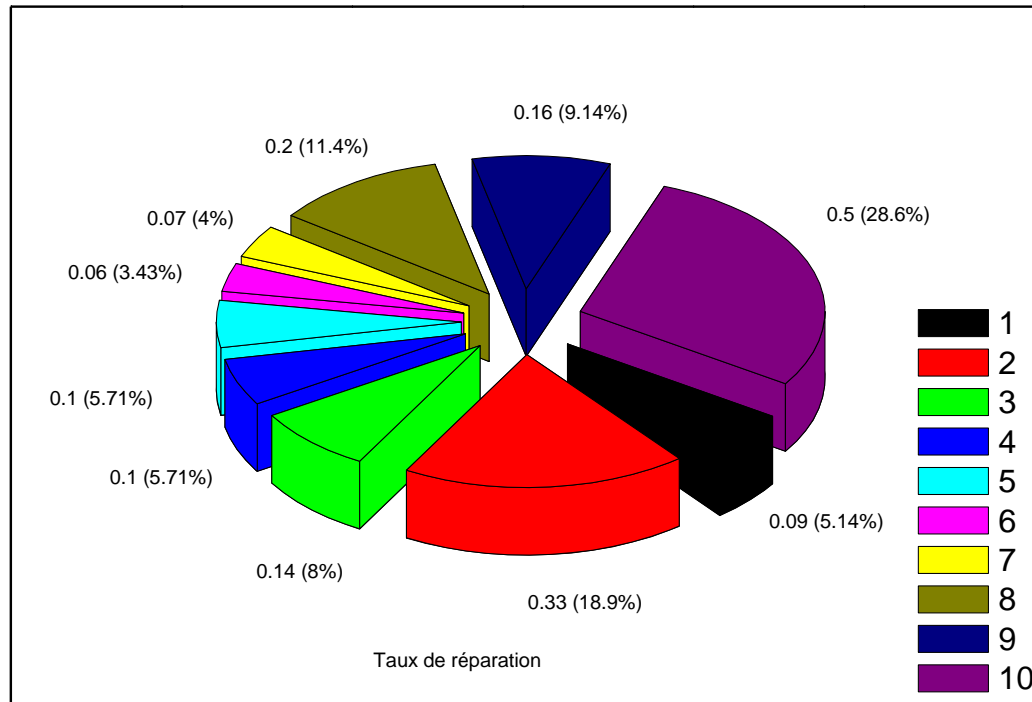


Figure III.11 : Histogramme des taux de réparation.

Interprétation :

La connaissance des MTTR nous a permis de représenter graphiquement les taux de réparation correspondants à chaque période d'exploitation. La première constatation de l'histogramme est que l'évolution du taux de réparation varie d'une façon aléatoire, mais tout de même on peut signaler que ce taux à diminuer remarquablement durant les sept dernières périodes.

III.3.3 : INTRODUCTION POUR LE CALCUL DE LA DISPONIBILITE

Connaissant les moyennes des temps de bon fonctionnement (MTBF) et les moyennes des temps techniques de réparation (MTTR), il est facile de calculer le troisième facteur de l'étude de la FMD, qui est la disponibilité, dont la détermination met en évidence l'aptitude de l'engin à la réparation, tout en visant une meilleure organisation de la maintenance.

a) Calcul de disponibilité (D)

Partant des différentes valeurs des MTBF_i et MTTR_i, on peut calculer les disponibilités correspondantes :

Exemple de calcul:
$$D_1 = \frac{MTBF_1}{MTBF_1 + MTTR_1} = 0,97$$

L'ensemble des valeurs des D_i sont données par le tableau suivant :

Tableau III.7 : Les disponibilités (D).

D ₁ = 0,97	D ₂ = 0,97	D ₃ = 0,94	D ₄ = 0,91	D ₅ = 0,76
D ₆ = 0,96	D ₇ = 0,89	D ₈ = 0,10	D ₉ = 0,95	D ₁₀ = 0,1

b) Représentation graphique de disponibilité (D)

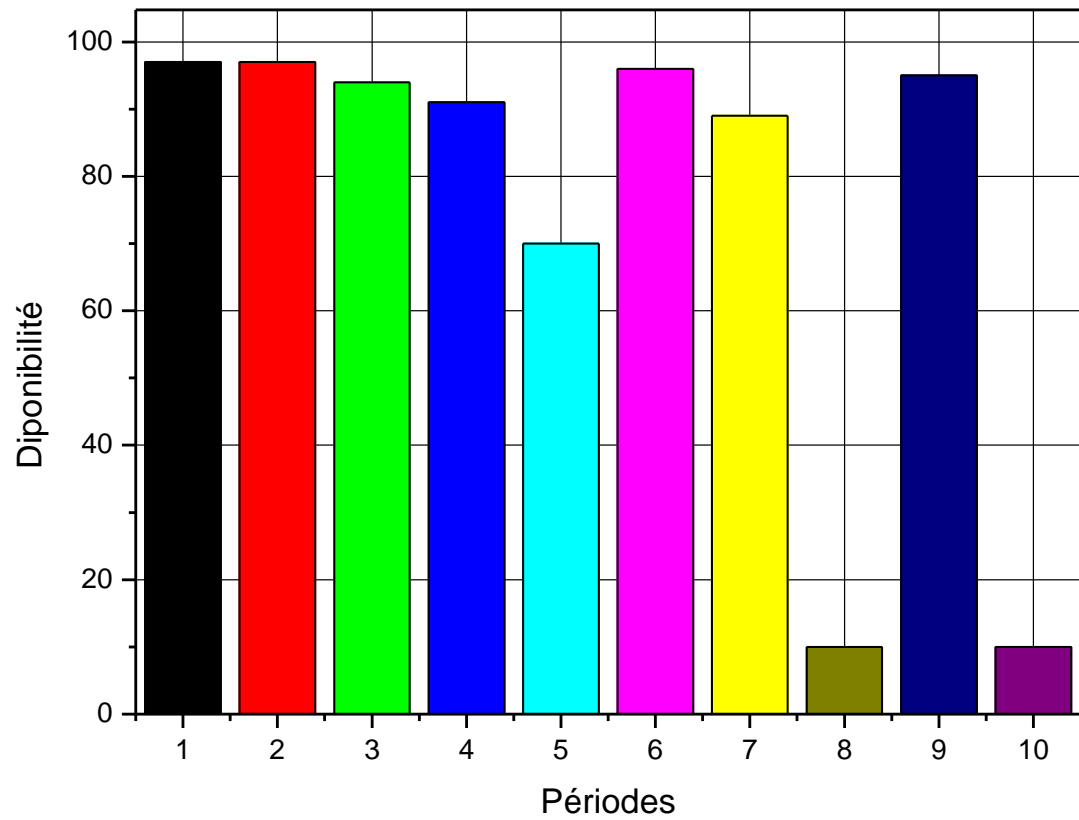
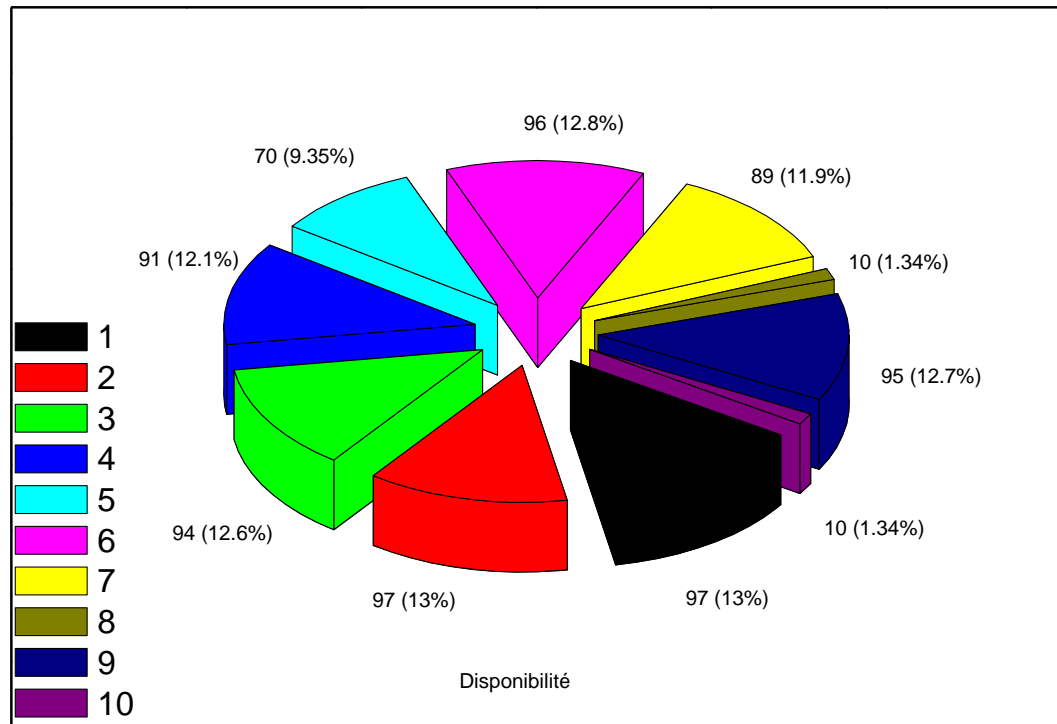


Figure III.12 : Histogramme des disponibilités.

Interprétation :

La figure III.12 représente l'évolution de la disponibilité sur l'ensemble des périodes d'exploitation. La première remarque est le fait que la disponibilité est maximale pendant les premières périodes d'utilisation, ceci est dû probablement aux valeurs maximales des MTBF enregistrées pendant ces périodes, et les faibles valeurs des MTTR.

Pendant les dernières périodes d'utilisation de la turbine à vapeur, les valeurs de la disponibilité ont considérablement diminués et atteint même une valeur minimale par rapport à toutes les périodes d'études [par exemple : $D_{10}=0.1$], cela est dû avis aux valeurs des MTBF et MTTR qui ont changées de tendance, les premières ont diminué tandis que les deuxièmes ont augmenté.

III.4. ETUDES DES PANNES PAR TYPES

III.4.1. ANALYSE ABC

Définition

Dans un service d'entretien, les taches sont nombreuses et les équipements parfois réduites. De plus, les technologies les plus évoluées en matière de maintenance coûtent cher, et ne doivent pas être appliqués sans discernement. Il convient, par conséquent, de s'organiser de façon efficace et rationnelle.

L'analyse ABC ou de 'Pareto' permet d'y remédier. Ainsi, un classement des coûts par rapport aux types de pannes donne des priorités sur les interventions à mener.

a) Origine de la méthode

Elle est issue des travaux de Wilfredo Pareto (1848 – 1923) économiste italien, mais né à paris. Etudiant la répartition de l'impôt foncier aux U.S.A il constata que 15% des contribuables payaient 85% du total.

Cette méthode ce nome aussi loi de Pareto (ambiguë), loi des 15-85 ou des 20-80.

b) Méthodologie

Elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant des coûts. Chaque panne se rapportant à une machine, ou rubrique. Puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages des coûts cumulés aux pourcentages de type de pannes cumulés.

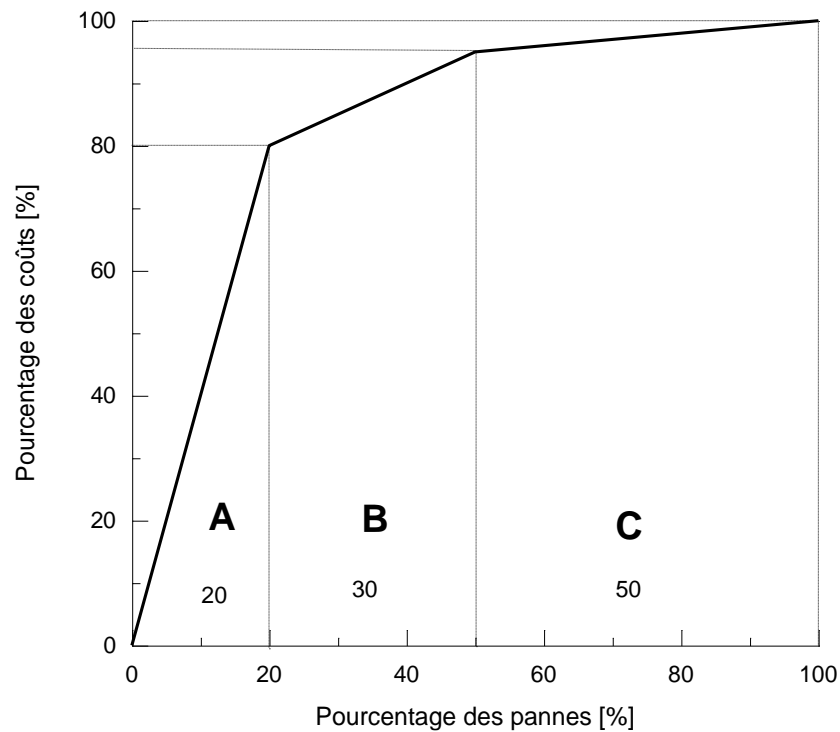


Figure III.13 : courbe ABC de Pareto.

Zone A

Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 20% des pannes représente 80% des coûts, ce qui constitue la zone A (zone de priorités).

Zone B

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

Zone C

Enfin, dans cette tranche, les 50 % des pannes restantes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

III.4.2 : APPLICATION DE LA METHODE ABC POUR L'ETUDE DE LA TURBINE A VAPEUR

L'application de la méthode ABC consiste à classer les pannes de la turbine d'une façon décroissante, puis calculer ses cumule et pourcentage.

CHAPITRE III:ETUDE STATISTIQUE DE L'HISTORIQUE DES PANNES

Tableau III.8 : La méthode Pareto Turbine (Temps d'arrêt)

Rang	Organe	Temps d'arrêt	Cumul (T-R)	% (T-R)
1	Pompe de graissage auxiliaire	1	1	0.507614213
2	Fuite à la purge du turbo	6	7	3.553299492
3	Défaut disjoncteur	6	13	6.598984772
4	Pompe alimentaire	16	29	14.72081218
5	Etincelles à l'alternateur	17	46	23.35025381
6	Clapets de sécurité et de régulateur	24	70	35.53299492
7	Problème à la chaudière	63	133	67.51269036
8	Défaut électrique	64	197	100

Tableau III.9 : La méthode Pareto Turbine (les pannes)

Rang	Organe	Nombre de panne	Cumul N ^{br} de panne	% N ^{br} de panne
1	Problème à la chaudière	11	11	39.28571429
2	Défaut électrique	6	17	60.71428571
3	Défaut disjoncteur	3	20	71.42857143
4	Pompe alimentaire	3	23	82.14285714
5	Clapets de sécurité et de régulateur	2	25	89.28571429
6	Pompe de graissage auxiliaire	1	26	92.85714286
7	Fuite à la purge du turbo	1	27	96.42857143
8	Etincelles à l'alternateur	1	28	100

Analyse par types de pannes.

Généralement dans la maintenance des équipements mécanique, on trouve trois types de pannes : Mécanique, hydraulique et électrique.

Tableau III.10 : Les nombres des pannes et d'heures d'arrêt.

Type de panne	Nombre de panne	Nombre d'heures d'arrêt (h)
Mécanique	A = 12	X = 61 h
Hydraulique	B = 15	Y = 96 h
Electrique	C=07	Z = 72 h
Total	65	229 h

Etude ABC

Tableau III.11 : Les données de la méthode Pareto.

Type de panne	Temps d'arrêt	Cumul (T-R)	% (T-R)	Nombre de panne	Cumul N ^{br} de panne	% N ^{br} de panne
Mécanique	X= 61	61	26%	12	12	35%
Hydraulique	Y =96	108	68%	15	15	79%
Electrique	Z = 72	84	100%	7	7	10%
Totale	229	84	100%	34	34	100%

Diagramme ABC 'par type de panne'

Les informations données par le tableau permettent de reporter dans un repère orthonormé.

En reliant les points ainsi obtenus, une courbe ascendante doit apparaitre sur laquelle il ne reste plus qu'à indiquer les limites des différents groups.

L'application de ce principe à donner naissance à la figure (III-14) représentant ainsi la courbe ABC l'histogramme de Pareto relatifs à l'historique de la turbine.

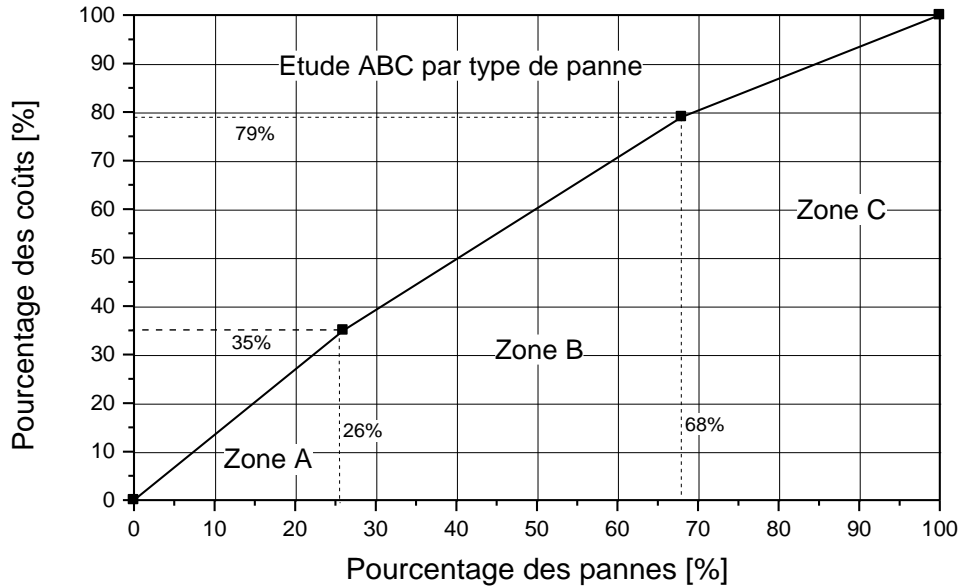


Figure III.14 : Diagramme ABC 'par type de panne'

26% des pannes (mécanique)	→	35% des coûts
42% des pannes (hydraulique)	→	44% des coûts
32 % des pannes (électrique)	→	21% des coûts

Interprétation

Les principaux points décelés à partir de cette analyse (ABC) sont :

- la non existant d'une zone de priorité, ce qui laisse le choix ouvert pour l'organisation d'une politique de maintenance préventive systématique ou préventive conditionnelle.

- mais de tout de même, il faut signaler que 42% des pannes sont des pannes hydrauliques et qui consomme plus de 40% coûts totaux. Les 58% restant sont réparties entre les pannes mécaniques 26% avec 35% des coûts et les pannes électriques 32% avec 21% des coûts.

- bien que la différence des coûts entre les trois types de pannes n'est pas grand, il faut signaler de même qu'il est possible de s'intéresser plus aux pannes mécaniques et hydrauliques qu'aux pannes électriques et cela pour augmenter la fiabilité de ces éléments (le plus connu est que la fiabilité des éléments électriques est toujours supérieure à celle des autres éléments).

Analyse des pannes hydrauliques

Tableau III.12 : Les données de l'analyse des pannes hydrauliques.

Type de panne	Nombre de pannes	Nombre d'heures d'arrêt (h)
Fuite à la purge du turbo	01	6
Problème à la chaudière	11	66
Pompe alimentaire	03	29
Total	15	101

Etude ABC des pannes hydrauliques

Tableau III.13 : Les données de méthode Pareto des pannes hydrauliques.

Type de panne	Nbre de pannes	Cumul	%	Coût	cumul	%
Problème dans chaudière	11	11	73	66	66	65
Pompe Alimentaire	3	14	93	29	95	94
Fuite à la purge du turbo	1	15	100	6	101	100
total	15	15	100	101	262	100

Diagramme ABC des Pannes hydrauliques

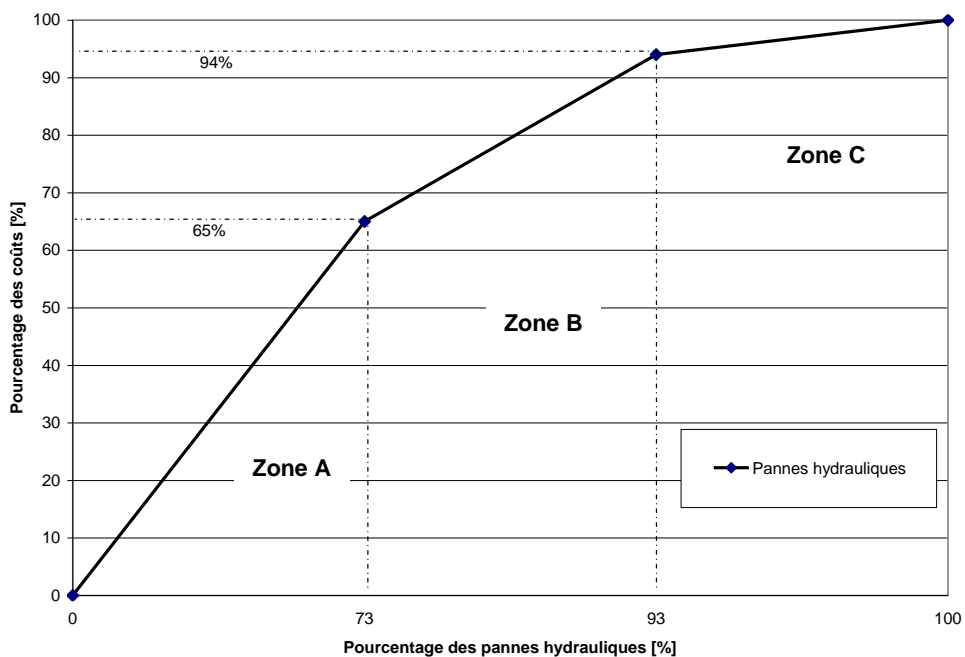


Figure III.15 : Diagramme ABC des Pannes hydrauliques.

73% des pannes	—————>	65% des coûts
20% des pannes	—————>	29% des coûts
07% des pannes	—————>	06% des coûts

Interprétations :

En observant la représentation graphique (ABC) des pannes hydrauliques, on voit clairement que la majorité des problèmes hydrauliques se situe au niveau de la chaudière ce qui est confirmé par les interventions fréquentes des agents de la maintenance. La courbe ABC montre bien que les 73 % des pannes coûtent 65% des frais d'interventions malgré ça cette zone ne représente en aucun cas une zone de priorité. La même remarque peut être tirée en voyant le nombre d'heures de réparation réservé au deuxième élément (pompe alimentaire) ainsi que le troisième élément.

En résumé, nous pouvons dire que, tous les éléments étudiés demandent le même intérêt afin de réduire leurs taux de réparation tout en minimisant les pannes qui se passent au niveau de ces éléments en prenant en considération ce problème lors de l'élaboration des gammes préventives.

III.5. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré principalement à l'étude quantitative d'une turbine à vapeur de l'ex ENASUCRE et cela à partir d'un historique de pannes et d'interventions, fourni par le service maintenance. L'analyse faite, en premier lieu, en utilisant la méthode ABC de **PARETO** nous a permis de distinguer les pannes critiques, majeures et mineures en les séparant en différentes zones. La deuxième partie de ce chapitre a été réservée à la détermination des paramètres de **Weibull** afin de reconnaître la phase de vie des différentes pompes. A cet effet et selon les résultats obtenus ($\beta > 1$) il s'avère tout à fait clair que ces dernières se situent dans la phase de vie de vieillesse dont le taux de défaillance est croissant, et que cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, ramenant ainsi l'équipement à une usure progressive.

CHAPITRE IV: ETUDE QUALITATIVE PAR L'AMDEC DE
TURBINE A VAPEUR

IV.1. INTRODUCTION

Le principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels susceptibles de se produire à toutes les phases de vie d'un équipement. A cet effet, une étude quantitative complémentaire a fait l'Object de dernier chapitre.

Ce type d'analyse est très important et représente un outil précieux pour l'identification des modes de défaillances des différents composants de la turbine à vapeur tout en évaluant leurs effets sur l'ensemble.

L'analyse AMDEC est un outil précieux pour l'analyse qualitative des défaillances. Ce type d'analyse permet une évaluation qualitative des différents schémas de défaillance. Ce type d'analyse est effectué régulièrement et contribue efficacement à améliorer la sécurité opérationnelle des entreprises industrielles.

Suite à cette analyse il serait aisé de proposer des procédures préventives et correctives pour mieux gérer la politique de maintenance. A l'issue de ce chapitre, nous avons pu dégager un programme de maintenance de notre turbine.

IV.2. APPLICATION DE LA DEMARCHE AMDEC :

La turbine comme équipement, son exploitation nous a donné des pannes répartis selon les systèmes mentionnés précédemment.

Dans l'étude suivante, nous nous appuyons sur AMDEC-Machine pour améliorer la disponibilité et la sécurité, et en priorité la fiabilité de turbine.[13]

IV.2.1. DECOMPOSITION FONCTIONNELLEMENT DE SYSTEME :

La première étape on a décomposé fonctionnellement le système

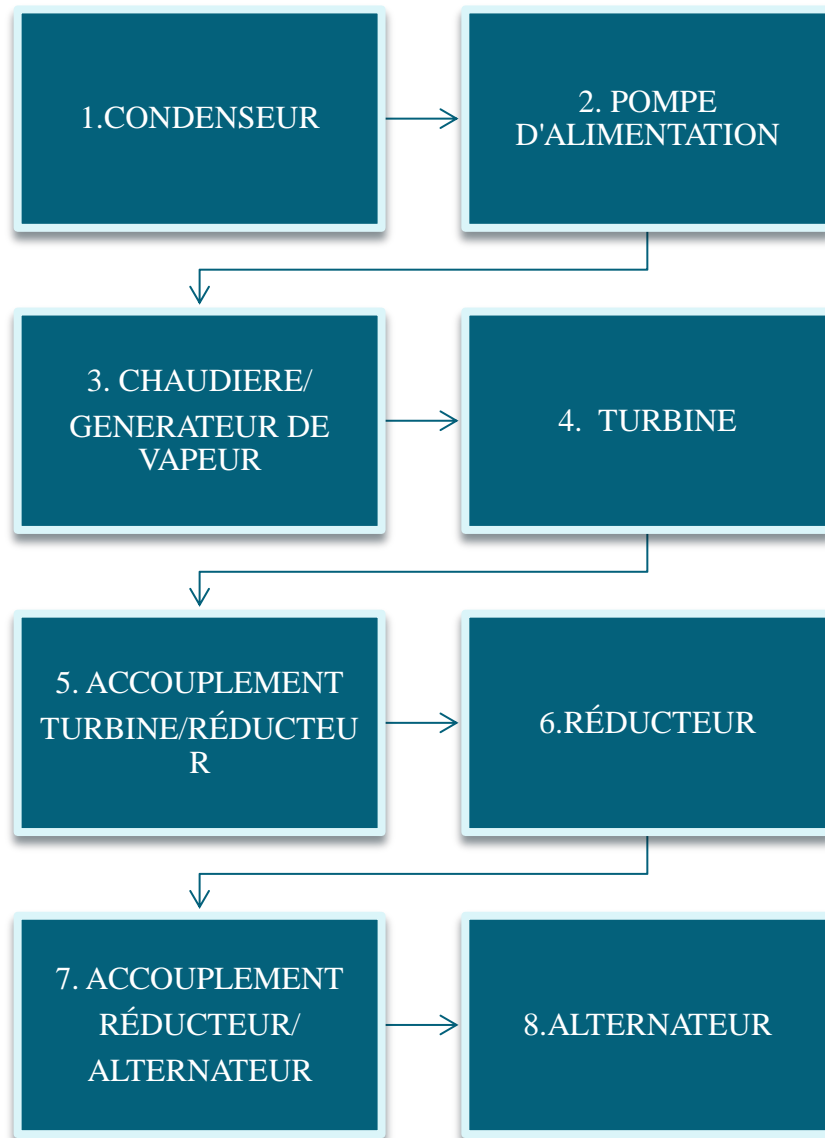


Figure IV.1 : Décomposition fonctionnelle du système.

IV.2.2. DECOMPOSITION STRUCTURELLE :

L'analyse fonctionnelle de la turbine nous a permis de découper la turbine en quatre sous-systèmes :

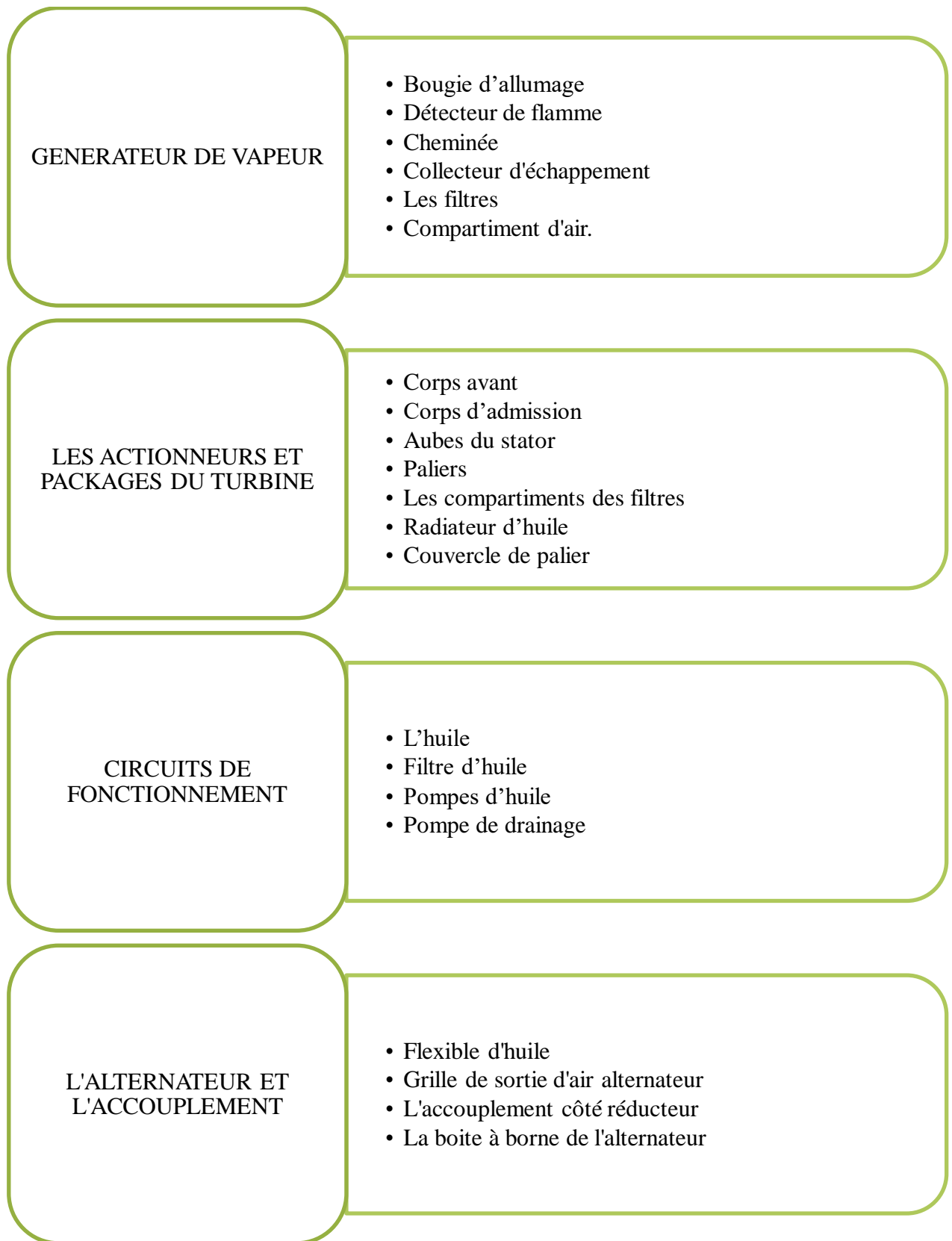


Figure IV.2: Décomposition structurelle du système

IV.2.3. ANALYSE DES SOUS-SYSTEME AMDEC

Après avoir fini la décomposition structurelle et fonctionnelle de la turbine, nous allons maintenant appliquer l'AMDEC pour chaque élément de cette turbine :

Tableau IV.1 : Analyse de générateur de vapeur par la méthode AMDEC.

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ				
		Ensemble : turbine à vapeur		sous-système : GENERATEUR DE VAPEUR
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Bougie d'allumage	- Déclencher la combustion du mélange (fuel gaz - L'air de compresseur axial)	- Grippage - Eraillure	-Echauffement local	-Pas de combustion
Détecteur de flamme	Envoyer l'indication de présence ou absence de flamme au système de commande	- Défectueux	- Vibrations -Echauffement local - Chocs	-La turbine ne démarre pas
Cheminée	- Dégagement des gaz brulant	- Blocage	- Poussière - Etat de surface - chocs - mauvais traitement thermique	-Mauvis filtration des gaz
Collecteur d'échappement	-Il est collecte tous les gaz brules de la turbine à gaz verre l'échappement	- Fissures -Echauffement	- Haut température	- Mauvais collecte des gaz brule
Les filtres	-Filtre d'air comburant	-Colmatage	-Les impuretés	-Risque de pollution
Compartiment d'air.	-Refroidissement de l'air entré de la chambre de combustion.	-Colmatage	-Poussières	- Mauvais fonctionnement du refroidisseur évaporatoire

CHAPITRE IV: ETUDE QUALITATIVE PAR L'AMDEC DE TURBINE A VAPEUR

Tableau IV.2 : Analyse des actionneurs et packages du turbine par la méthode AMDEC

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ				
Ensemble : turbine à vapeur			sous-système : LES ACTIONNEURS ET PACKAGES DU TURBINE	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Corps avant	Transférer les charges du stator et fixation les aubes du stator	- Cassure - Fissure	- Fatigue - Mauvaise conception	- Influence mineure sur la fiabilité - Pompage de compresseur
Corps d'admission	Diriger l'air de manière uniforme dans le compresseur	- Usure - Rupture	- Corrosion	Mauvaise filtration d'air
Aubes du stator	Guider l'air pour pénétrer dans les étages successifs du compresseur axial	Déformation - Corrosion - Erosion	- Mauvaise filtration d'air	- Vibration - Détériorations des aubes
Paliers	Soutienne le rotor du compresseur/ turbine de haute pression et assurer le graissage	- Usure - Cassure	- Fatigue - Mauvais alignement - Mauvais graissage	- Vibration - Echauffement - Blocage de rotor HP
Les compartiments des filtres	Assemblage du système de filtration de l'air de comburant et de ventilation	Colmatage	- Les impuretés - Les vents de sables - Les poussières	- Mauvais filtration
Radiateur d'huile	Refroidissement de l'huile de lubrification	- Fuit - Corrosion	- Fientes d'oiseaux - Mauvais soudeur	- Mauvais refroidissement d'huile - Déclenchement de la turbine
Couvercle de palier	- Protéger les équipements de l'ensemble contre les phénomènes naturels. - Réduire les bruits de la turbine	Cassure les portes de package	Phénomènes naturelles (les vents de sables)	Influence moyenne sur les exploitants

Tableau IV.3 : Analyse des circuits de fonctionnement par la méthode AMDEC

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ		
Ensemble : turbine à vapeur		sous-système : CIRCUITS DE FONCTIONNEMENT

CHAPITRE IV: ETUDE QUALITATIVE PAR L'AMDEC DE TURBINE A VAPEUR

Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
L'huile	- Lubrification -Refroidissement	- Dégradation de leurs propriétés - Pert d'huile	- La haute température - Fuites	Usure
Filtre d'huile	-Filtre l'huile des impuretés	- Colmatage	- Les impuretés	- L'arrêt de graissage Déclanchement de la turbine
Pompes d'huile	Distribuée l'huile dans les organes et les pièces qui besoin la lubrification et le refroidissement	- Perte de fonction - Fuit d'huile	- Manque d'pression - Absence de joint	- Déclanchement de la turbine - Arrêt de lubrification
Pompe de drainage	Vider des huiles et des eaux du réservoir de drainage	- Piquer des membranes -fuit	État de surface des membranes	- Mauvais vidange

Tableau IV.4 : Analyse d'alternateur et l'accouplement par la méthode AMDEC.

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ				
Ensemble : turbine à vapeur			sous-système : CIRCUITS DE FONCTIONNEMENT	
Composant	Fonction	Mode	Cause	Effet
Flexible d'huile	Assurer la circulation d'huile	-Bouchage -Fuite	-Mauvais serrage -Fissure	-Pert de débit d'huile et de pression
Grille de sortie d'air alternateur	Diriger l'air chaud à l'extérieur de l'alternateur	- Cassure - Bouchage	- Poussières - Chocs	-Mauvais fonctionnement - Vibration
L'accouplement côté réducteur	Transmettre la puissance de la turbine au réducteur	-Rupture - Echauffement	- Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge - Fatigue - Désalignement	- Mauvaise transmission - Usure des paliers - Usure des dents d'engrenages - Vibrations
La boîte à borne de l'alternateur	Elle contient les connexions de puissance et les connexions des transformateurs de tension et de courant et les connexions de basse tension - Assurer les mesures de	Echauffement - Court circuit - Perte de performance	- Chaleur - Mauvais serrage	- Mauvais connexion avec système contrôle commande -Mauvais protection

CHAPITRE IV: ETUDE QUALITATIVE PAR L'AMDEC DE TURBINE A VAPEUR

	contrôle et les protections et mesures courant,			
--	---	--	--	--

IV.2.4. ANALYSE DU SYSTEME TURBINE A VAPEUR AMDEC

D'après l'historique de la machine et les tableaux (IV.1, IV.2, IV.3, IV.4), on propose dans ce qui suit un tableau AMDEC pour la turbine à vapeur.

Tableau IV.5 : Analyse des modes de défaillances, de leur Effets et de leurs Criticité.

		ETUDE : Analyse des modes de défaillances, de leur Effets et de leurs Criticité				Responsable				
		Secteur : Turbine à vapeur Type S.4				Unité maintenance : Atelier Mécanique				
Matériels		Caractéristique de défaillance				Criticité				Résultat de défaillance
Sous-système	élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	G	F	D	C	Actions
	Turbine à vapeur									
	la chaudière	- Dégagement des gaz brulant. - Générer la vapeur.	- Blocage	- Poussière - Etat de surface - chocs - mauvais traitement thermique -Echauffement local	- Mauvis filtration des gaz -La turbine ne démarre pas	2	4	2	16	-Soudage des fissures et nettoyage -Changer le détecteur de flamme - Changement bougie d'allumage
	L'armoire électrique	-Alimentation électrique	-un court-circuit	- Dépoussiérage - Dommages les câbles	Pas de démarrage de la turbine	2	4	1	8	- Changer le circuit de commande - Poussiérise a l'armoire - Nettoyage et soufflage l'armoire électrique
	Pompe alimentaire	- Assurer la circulation d'huile - Lubrification - Refroidissement	-Bouchage -Fuite - Dégradation de leurs propriétés - Pert d'huile	-Mauvais serrage -Fissure -La haute température - Fuites	-Pert de débit d'huile et de pression - Usure	1	3	2	6	- Changement filtre ou nettoyage - Réparation - Serrage et fixation les tuyaux - Réparation de fissures
	Clapets de sécurité et de régulateur	-Maintenir de la vitesse constante de la turbine -l'ouverture du clapet d'admission				2	3	2	12	-

	de vapeur								
Pompe de graissage auxiliaire	- Distribuée l'huile dans les organes et les pièces.	- Perte de Fonction - Fuit d'huile	- Manque de pression - Absence de joint	- Déclanchement de la turbine - Arrêt de graissage, température de frottement élevée	1	2	1	2	- Changement filtre ou nettoyage - Vidange et changement de l'huile
Turbo	-Entrainé le rotor. -Guider l'air pour pénétrer dans les étages successifs du compresseur axial.	- Déformation - Corrosion - Erosion	- Les impuretés - Les vents de sables -Les poussières - Mauvaise filtration d'air	- Mauvais filtration - Vibration - Détériorations des aubes	1	2	1	2	- Nettoyage et réparation du package - Serrage boulonnaire - Nettoyages des compartiments des filtres. - Contrôle des vannes de basculement. - Nettoyage des refroidisseurs d'huile.
L'alternateur	-Générer d'électricité Il contient les connexions de puissance et les connexions des transformateurs de tension et de courant et les connexions de basse tension	-Echauffement - Court-circuit - Perte de performance	- Chaleur - Mauvais serrage	- Mauvais connexion avec système contrôle commande -Mauvais protection	1	2	2	4	- Vérification et réparation la boite a borne. - Fixation de flexible - Réparation et fixation grille de sortie d'air alternateur.

IV.3. SYNTHESE OU EVALUATION DE LA CRITICITE

A partir de (Tableau IV.5) grille de l'AMDEC de la turbine à vapeur, on a hiérarchisé les défaillances selon le seuil de criticité dans (TableauIV.6) suivant :

Tableau IV.6 : Evaluation de la criticité de la turbine à vapeur.

Composant	Criticité	Hiérarchisation	Recherche des actions préventives
la chaudière	16	2 Criticité interdit	Remise en cause complète de la conception de préventive conditionnelle.
Clapets de sécurité et de régulateur	12		
L'armoire électrique	8	Criticité élevée	surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle.
Pompe alimentaire	6	2 Criticité moyenne	Amélioration de la performance de l'élément, maintenance préventive systématique.
L'alternateur	4		
Disjoncteur	3	3 Criticité négligeable	Aucune modification, maintenance corrective
Pompe de graissage auxiliaire	2		
Turbo	2		

IV.4. PROGRAMME DE MAINTENANCE DE LA TURBINE A VAPEUR

L'entretien préventif et les réparations avant de graves perturbations réduiront les coûts d'exploitation.

La section suivante décrit les différentes étapes nécessaires pour retirer et remplacer toutes les pièces. Si une révision est nécessaire, il faut suivre attentivement les instructions spécifiques.

Ce calendrier n'est qu'une recommandation et est destiné à être modifié par les experts en place dans les circonstances.

CHAPITRE V: ETUDE QUALITATIVE PAR L'AMDEC DE TURBINE A VAPEUR

Tableau IV.7 : Programme de maintenance de la turbine a vapeur. [4]

Fréquence	Tâches de maintenance
Chaque jour ou moins	1. Procéder à une inspection visuelle de l'appareil pour déceler les fuites (huile et vapeur), inhabituelles bruit/vibrations, filtres bouchés ou fonctionnement anormal.
	2. Cycle des clapets anti-retour.
Hebdomadaire ou moins	1. Tendances du rendement et de la santé de l'unité. Les mesures de vibrations manuelles doivent être prises à partir de la turbine à vapeur et de la boîte de vitesses si le système permanent de surveillance des vibrations n'est pas installé.
	2. Vérifier le bon fonctionnement des pompes de secours et de lubrification auxiliaire.
	3. Mettre à l'essai le réservoir principal d'huile de graissage et les alarmes de basse pression d'huile.
	4. Tester le déclenchement simulé de survitesse, s'il y a lieu.
	5. Faire fonctionner le robinet d'arrêt de vapeur principal ou le papillon des gaz.
	6. Vannes de régulation de cycle si les charges de vapeur ne changent pas
	7. Faire fonctionner les vannes d'extraction et d'admission si les charges de vapeur ne changent pas.
Chaque mois ou moins	1. Échantillonner et analyser l'huile de graissage et le liquide hydraulique pour détecter la présence d'eau, de particules et de contaminants.
	2. Essais hebdomadaires différés ou cycles de vannes dont l'expérience a révélé une fiabilité suffisante pour les reporter à un mois d'intervalle.
Annuellement	1. Procéder à une inspection visuelle et à un essai fonctionnel de tous les robinets d'arrêt, de manette des gaz, de commande, d'extraction et de non-retour, y compris les cames, les rouleaux, les roulements, les crémaillères et les pignons, les servomoteurs et tous les autres robinets ou dispositifs pertinents pour l'usure, les dommages et/ou fuite.
	2. Inspecter visuellement les joints d'étanchéité, les roulements, les joints et les systèmes de lubrification (huile et hydraulique), ainsi que la tuyauterie et les composants du système de vidange pour déceler l'usure, les fuites, les dommages dus aux vibrations, les filtres obturés et tout autre type de détresse thermique ou mécanique.
	3. Effectuer une inspection visuelle, mécanique et électrique de tous les systèmes d'instrumentation, de protection et de contrôle. Comprend la vérification des alarmes, des déclenchements, des filtres et des systèmes de lubrification et de refroidissement à eau de secours.
	4. Vérifier le fonctionnement de la survitesse mécanique tous les ans, à moins que le

	<p>système principal soit électronique et muni d'un interrupteur de test du système d'exploitation. Pour ce système, des simulations électroniques de survitesse devraient être effectuées chaque semaine, tandis que des essais mécaniques et électriques de survitesse devraient être effectués tous les trois ans. Pour les systèmes électroniques sans commutateur d'essai du système d'exploitation, un essai de survitesse devrait être effectué annuellement.</p>
	<p>5. Inspecter visuellement les dents de la boîte d'engrenages (si elles sont installées) pour déceler toute usure ou tout dommage inhabituel, et vérifier si les joints et les roulements de la boîte d'engrenages sont endommagés.</p>
	<p>6. Vérifier l'usure des actionneurs de la soupape anti-retour à l'intérieur.</p>

Les paragraphes suivants indiquent le schéma typique de la séquence et du calendrier des révisions des turbines ainsi que le poste de travail de révision. Selon l'expérience de l'industrie.[4]

La durée d'une révision mineure serait habituellement d'environ 2 à 4 semaines et comprendrait le poste de travail suivant :

- Ouverture des boîtiers de turbine, uniquement si nécessaire.
- Inspection visuelle des aubes du dernier étage de la turbine basse pression.
- Examen endoscopique des parties accessibles de la turbine et de la génératrice.
- Inspection des roulements.
- Contrôle de la concentricité du couplage.
- Vérifier et ré-étalonner les dispositifs de sécurité de la turbine et du générateur.
- Vérifier et réajuster/ré étalonner le système de commande de la turbine.
- Vérification des pompes et systèmes d'huile de lubrification et de contrôle.
- Inspection des vannes de vapeur.
- Examen des systèmes de condensation et de chauffage d'alimentation.
- Inspection visuelle des enroulements d'extrémité du stator, de leurs barres omnibus et de leurs bornes, si cela est possible sans travaux de démontage approfondis. Le rotor du générateur n'est pas démonté.
- Vérification de l'équipement d'excitation (excitateur, engrenage à balais et balais de bague collectrice).
- Contrôles complémentaires en fonction des spécificités de l'unité et des observations opérationnelles individuelles.

La durée d'une révision majeure serait généralement d'environ 4 à 8 semaines et comprendrait le poste de travail suivant :

- Toutes les vérifications et tous les examens effectués pendant une révision mineure.
- Ouverture du carter de la turbine (ou de tous les carters s'ils sont composés de plusieurs cylindres).
 - Examen de la lame.
 - Examen complet des raccords, y compris le test de sortie axiale.
 - Démontage et examen du rotor du générateur.
 - Inspections de l'enroulement complet du stator (support d'enroulement d'extrémité, calage des fentes, bandes, barres omnibus, bornes).
 - Examen de la résistance et des dommages de l'ensemble du noyau du stator.
 - Démontage et inspection de l'équipement d'excitation (excitateur, balais et balais de bague collectrice).
- Contrôles complémentaires en fonction des spécificités de l'unité et des observations opérationnelles individuelles.

IV.6. CONCLUSION

Après l'analyse quantitative faite précédemment, nous avons préféré, pour mieux cerner l'ensemble des problèmes de la turbine à vapeur, d'aborder une analyse qualitative sur notre système faite essentiellement par les techniques et les méthodes les plus connues dans le monde de la maintenance, à leur têtes l'analyse des risques de défaillances par l'AMDEC. Cette méthode a permis de mettre en évidence tous les scénarios de défaillances potentielles de la turbine à vapeur ainsi que les remèdes possibles et les démarches de la maintenance proposées.

L'application de méthode AMDEC aux turbines à vapeur nous a permis également de fournir des explications et de proposer des solutions qui permettent d'améliorer les calendriers de maintenance et d'identifier les éléments les plus affectés.

CONCLUSION GENERALE

L'application du questionnaire **Lavina** nous a permis d'identifier certaines faiblesses dans les politiques d'entretien adoptées par les agents d'ENASUCRE, pour lesquelles nous avons fait quelques recommandations pour améliorer le rendement des services d'entretien.

A l'aide de l'historique des pannes de la turbine à vapeur, nous avons abordé la deuxième partie du travail par une étude quantitative de basée sur le concept **FMD**. Cette quantification a été réalisée par l'application de modèle de **Weibull**, connu pour son identification des trois étapes de vie d'un bien. Il ressort des valeurs mesurées du facteur de forme β (paramètre de Weibull) de la turbine à vapeur (supérieur à 1) que cette dernière est en phase de vieillissement (au cours de laquelle le taux de défaillance augmente). Cette phase de vie correspond à une détérioration irréversible des performances du système, c.-à-d. une usure progressive.

Cette période de vieillissement se caractérise par une augmentation progressive des taux de défaillance, au cours de laquelle les composants mécaniques (arbres, aubes, etc.) subissent plusieurs phénomènes de vieillissement qui peuvent agir ensemble : corrosion, usure, déformation, fatigue et éventuelle perte de conformité ou de fragilisation. Cette étape de la vie est généralement modélisée par une loi de probabilité, comme la loi de Weibull que nous avons utilisé.

Par conséquent, comme l'augmentation des taux de défaillance avec le vieillissement n'est pas toujours systématique, les techniciens et les ingénieurs se concentrent sur l'entretien préventif conditionnel des systèmes pour prévenir les défaillances avec le vieillissement. A cet effet, nous avons réalisé une étude qualitative de la turbine à vapeur en analysant les types de défaillance, les effets et leur criticité (**AMDEC**).

Cette dernière méthode nous a été très utile dans l'identification des principaux modes de défaillance des composants de la turbine (soupapes de sûreté et de contrôle, ailettes de stator, roulements, pompes alimentaires, etc.) tout en évaluant leur importance pour la sécurité opérationnelle.

Comme conclusion finale, nous pouvons dire qu'il est nécessaire de se concentrer sur la réalisation d'une meilleure organisation de maintenance afin d'augmenter la fiabilité, ce qui offre la possibilité de réduire les temps d'arrêt, l'indisponibilité et les coûts de maintenance. Pour cela, ces aspects importants doivent être pris en compte dans la gestion globale du système.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] S.Bensaada, D.Felliachi, LA MAINTENANCE MAINTENANT. Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, 2011.
- [2] S.Benissaad, COURS DE MAINTENANCE INDUSTRIELLE, Université Mentouri Constantine.
- [3] Dr. M. GUEMANA. Cours Maintenance Industrielle.
- [4] Maintenance and Overhaul of Steam Turbines, International Association of Engineering Insurers, 38th Annual Conference – Moscow 2005.
- [5] H. El Hadaf et M.Tkiouat, L’audit de la maintenance : Application à la central thermique Mohammadia de L’ONE, Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, Rabat-Maroc du 3 au Avril 2006.
- [6] Yves Lavina, Audit de la fonction maintenance, 2005.
- [7] Eric Goncalvès da Silva, Jean-Paul Thibault. Cycles thermodynamiques des machines thermiques. Engineering school. Institut polytechnique de Grenoble, 2008.
- [8] G. Hart. Les turbines à vapeur, 1904.
- [9] K. SIHEM : CONSTRUCTION D’UNE ONTOLOGIE A PARTIR DE BASES DE DONNEES POUR L’AIDE A LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE APPLICATION : TURBINE A VAPEUR, mémoire de magister, 2009.
- [10] J. Bernard Génie énergétique. Turbomachines à fluides compressibles – Compresseurs, turbine à gaz et à vapeur, turbomoteurs d’aéronefs. 2020.
- [11] A. Stodola- Steam Turbines: With an Appendix on Gas Turbines and the Future of Heat Engines.
- [12] A BELLAOUAR, S BELEULMI. Fiabilité Maintenabilité Disponibilité, Université Constantine 1, 2013/2014
- [13] M RIDOUX.AMDEC, Techniques de l’Ingénieur, traité L’entreprise industrielle, AG4 220.

ANNEXES

B- Méthodes de travail	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Pour les interventions importantes en volume d'heures et /ou répétitives, privilégie-t-on la préparation du travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2- Utilisez-vous des supports imprimés pour préparer les travaux où établir des devis (fiches de préparation ou fiche de devis) ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3- Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	5	10	<u>15</u>	20
4- Avez-vous une procédure écrites (et appliquée) définissant les autorisations du travail (consignation, déconsignation) pour les travaux à risque ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- Conservez-vous et classez-vous de manière particulière les dossiers de préparation ?	0	2.5	5	7.5	<u>15</u>
6- Y a-t-il des actions visant à standardiser les organes et pièces ?	0	10	15	20	<u>30</u>
7- Avez-vous des méthodes d'estimation des temps autres que celles enregistrées sur les fiches d'interventions ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
8- Utilisez-vous la méthode PERT pour la préparation des travaux longs ?	0	5	<u>10</u>	15	20
9- Avez-vous recours à des méthodologies formalisées pour les interventions palliatives ?	0	10	15	<u>20</u>	30
10- Réservez-vous les pièces en magasin, faites-vous préparer des Kits (pièces, outillages) avant vos interventions ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11- L'ensemble de la documentation est-elle correctement classée et facilement accessible ?	0	5	10	15	<u>20</u>
B- 250 Points possibles	Sous -score :			227.5	

C- Suivi technique des équipements	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'une récapitulative (inventaire) par emplacement des équipements de votre unité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2- Est-ce que chaque équipement possède un numéro d'identification unique autre que le numéro chronologique d'immobilisation ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3- Sur le site, tout équipement a-t-il son numéro d'identification clairement signalé ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
4- Les modifications sur équipement, nouvelles installation ou suppressions d'équipement sont-elles enregistrées systématiquement ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
5- Un dossier technique est-il ouvert pour chaque équipement ou installation ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Possédez-vous un historique des travaux pour chaque équipement ?	0	10	15	<u>20</u>	30
7- Disposez-vous des informations concernant les heurs passés, les équipements consommées et les coûts, équipement par équipement ?	0	10	20	30	<u>40</u>
8- Y a-t-il un (ou plusieurs) responsable(s) de la tenue de l'historique des travaux ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9- Assurez-vous un suivi formel des informations relatives aux comptes rendus de visites ou inspections préventives ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10- Les historiques sont-ils analysés une fois par an ?	0	5	<u>10</u>	15	20
C- 250 Points possibles	Sous -score :			230	

D- Gestion portefeuille de travaux	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Avez-vous un programme établi de maintenance préventive? (action préventives, périodicité, charge de travail ...)	0	10	<u>20</u>	30	40
2- Disposez-vous de fiche ou (check-lists) écrit de maintenance préventive ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3- Existe-il un responsable de l'ensemble des actions de maintenance préventive?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
4- Les utilisateurs des équipements ont-ils des responsabilités en matière de réglage et de maintenance de routine ?	0	5	10	15	<u>20</u>
5- Avez-vous un système d'enregistrement des demandes de travaux ?	0	10	20	<u>30</u>	40
6- Y a-t-il une personne plus responsable de l'ordonnancement des travaux ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7- Avez-vous défini des règles permettant d'affecter les travaux selon les priorités ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Connaissez-vous en permanence la charge de travail en portefeuilles ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Existe-il un document bon (ou demande) de travail permettant de renseigner et de suivre toutes les interventions, qui soit utilisé systématiquement pour tout travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10- Les techniciens ainsi que les chefs d'équipes se rencontrent périodiquement pour débattre des priorités, problème de planning, personnel, etc... ?	0	10	<u>15</u>	20	30
11- Disposez-vous d'un planning hebdomadaire de lancement des travaux ?	0	10	15	<u>20</u>	30
D- 300 Points possibles	Sous -score :			235	

E- Tenue du stock de pièces de rechange	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'un magasin fermé pour stocker les pièces de rechange ?	0	5	10	<u>15</u>	20
2- Disposez-vous de libre-service pour les consommations courantes ?	0	2.5	<u>5</u>	7.5	10
3- Tenez-vous à jour des fiches de stocks (manuel ou informatisé)?	0	10	15	<u>20</u>	30
4- Eliminez-vous systématiquement les pièces obsolètes ?	0	2.5	<u>5</u>	7.5	10
5- Suivez-vous la consommation des articles par équipement ?	0	<u>2.5</u>	5	15	10
6- La valeur et le nombre d'articles en stocks est-il facilement disponible ?	0	5	<u>10</u>	15	20
7- Les pièces sont-elles bien rangées et identifiées ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8- A-t-on bien défini le seuil de déclenchement et les quantités à approvisionner pour chaque article en stock ?	<u>0</u>	5	10	15	20
9- Les pièces interchangeables sont-elles identifiées ?	0	10	<u>15</u>	20	30
10- Les procédures d'approvisionnement sont-elles suffisamment souples pour stocker au maximum chez le fournisseur ?	0	10	15	<u>20</u>	30
E- 200 Points possibles	Sous -score :			107,5	

F – Achat et approvisionnement des pièces et matières	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- A-t-on une procédure formalisée et adaptée d'émission des demandes d'achat et de passation des commandes?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Y a-t-il une ressource dans le service particulièrement chargée des suivis des demandes d'achat?	0	15	10	15	<u>20</u>
3- Toute demande de pièces a cout élevé requière-t-elle l'accord du responsable du service?	0	10	15	<u>20</u>	30
4- Les délais d'émission d'une demande sont-ils à votre avis suffisamment court ?	0	10	<u>15</u>	20	30
5- A-t-on des machines négocies pour les articles standard ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6- Pour les articles a consommation régulière, passez-vous par des fournisseurs autres que le constructeur de l'équipement ?	0	10	<u>15</u>	20	30
7- Disposez-vous d'un processus d'homologation des fournisseurs ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8- Lors des différentes négociations avec les fournisseurs, y a-t-il une grande cohésion entre le service achat et le service de maintenance ?	0	5	10	15	<u>20</u>
F- 200 Point possibles	Sous -score :			145	

G – Organisation matérielle de l’atelier maintenance	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- L’espace atelier de maintenance est-il suffisent ?	0	10	15	<u>20</u>	30
2- Votre atelier pourrait-il être mieux situe par rapport aux équipements à entretenir ?	40	30	20	<u>10</u>	0
3- Les bureaux des superviseurs sont-ils de plein pied sur l’atelier ?	0	5	10	15	<u>20</u>
4- Votre atelier dispose-t-il de chauffage et d’air conditionne ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
5- Le magasin d’outillage et de pièces de rechange est-il au voisinage de votre atelier ?	0	5	10	15	<u>20</u>
6- Y a-t-il un responsable du magasin ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
7- Le magasin outillage est-il affecte exclusivement à la maintenance et aux travaux neufs ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8- Chaque intervenant dispose-t-il d’un poste de travail bien identifie ?	0	5	10	<u>15</u>	20
9- Les moyens de manutention de l’atelier sont-ils adaptes ?	0	10	15	20	<u>30</u>
G- 200 Points possibles	Sous -score :			155	

H- Outillages	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'un inventaire d'outillage et équipement de test en votre possession ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Cet inventaire est-il mis à jour régulièrement ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
3- Disposez-vous de tous les outillages spéciaux et équipement de tests ou contrôle en votre possession?	0	10	<u>15</u>	20	30
4- Exécutez-vous votre maintenance à l'aide des équipements de test ou contrôle en votre possession ?	0	<u>10</u>	15	20	25
5- Les outillages et équipements de test ou de contrôle sont-ils facilement disponibles et suffisante en quantité ?	0	10	<u>15</u>	20	25
6- L'étalonnage des appareils s'est-il bien défini (vérification et tolérance) et effectué ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
7- Avez-vous défini par écrit le processus de mise à disposition et d'utilisation des outillages ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
8- Chaque exécutant dispose-t-il d'une boîte à outils personnelle ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9- Disposez-vous suffisamment de moyens de manutention sur site (palan, treuil, nacelle, échelle,...) ?	0	10	15	<u>20</u>	30
H- 200 Points possibles	Sous -score :			150	

I - Documentation technique	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'une documentation générale suffisante mécanique, électrique, électronique, informatique... ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Pour tout équipement (ou installation) disposez-vous des plans d'ensembles et schémas nécessaires ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- Les notices techniques d'utilisation et de maintenance ainsi que les listes pièces détachées sont-elles disponibles pour les équipements majeurs ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Les plans des installations accessibles et utilisables ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- Les plans et schémas sont-ils mis à jour au fur et à mesure des modifications apportées ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Enregistre-t-on les travaux de modification des équipements et classe-t-on les dossiers de préparation correspondants (préparation mise à jour documentation) ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7- Les contrats de maintenance sont-ils facilement accessibles ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8- Les moyens de classement et archivage sont-ils suffisants ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
I- 200 Point possibles	Sous -score :			195	

J - Personnel et formation	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1-Le climat de travail est-il généralement positif ?	0	10	20	30	<u>40</u>
2- Les techniciens encadrent-ils correctement les travaux réalisés par les agents ou les opérateurs ?	0	10	15	<u>20</u>	30
3- Les problèmes sont-ils souvent examinés en groupe incluant les exécutants ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Existent-ils des entretiens annuels d'appréciation du personnel d'encadrement et exécutant ?	0	5	10	15	<u>20</u>
5- Les agents de maintenance sont-ils suffisamment disponibles ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Considérez-vous globalement que la compétence technique de votre personnel soit suffisante ?	0	15	25	<u>35</u>	50
7- Dans le travail au quotidien, estimez-vous que le personnel a l'initiative nécessaire ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Le responsable maintenance assure-il régulièrement le perfectionnement de son personnel dans les domaines technique ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Recevez-vous une formation aux nouvelles technologies par l'intermédiaire de visite chez les constructeurs ou des expositions ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10- Votre personnel reçoit-il régulièrement une formation à la sécurité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11- La formation des agents est-elle programmée et maîtrisée par le service maintenance ?	0	5	<u>10</u>	15	20
12- Les qualifications et les habilitations du personnel sont-elles suivies rigoureusement ?	0	5	10	15	<u>20</u>
13- Avez-vous des pertes importantes de temps productifs dû à des retards, absences... ?	30	20	<u>15</u>	10	0
14- La relation entre votre personnel et le service client est-elle bonne ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
J- 400 Points possibles	Sous -score :			337.5	

K- Sous-traitance	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt Oui	Oui
1- Avez-vous un processus d'évaluation formelle des sous-traitants ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
2- Les descriptifs de travaux et cahier des charges sont-ils soigneusement élaborés ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- La sélection des sous-traitants s'effectue-t-elle sur des critères de technicité et de compétence ?	0	5	10	<u>15</u>	20
4- Avez-vous localement la possibilité de recours à de multiples entreprises sous-traitantes pour les domaines qui vous concernent ?	0	5	<u>10</u>	15	20
5- Sous-traitez-vous les tâches pour lesquelles vous considérez ne pas disposer d'une technicité suffisante ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Vos contrats avec les sous-traitants incluent-ils des clauses de résultats ?	0	5	<u>10</u>	15	20
7- Développez-vous l'assurance de la qualité et le partenariat avec vos sous-traitants ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Créez-vous et mettez-vous à jour un dossier par affaire selon une procédure de constitution pré-déterminée ?	0	5	10	<u>15</u>	20
9- Le suivi des travaux du sous-traitant et la réception de ceux-ci sont-ils effectués par une personne de votre service nommément désignée et selon des procédures rigoureuses ?	0	10	15	<u>20</u>	30
10- Disposez-vous d'une documentation propre à faciliter la maintenance de vos équipements par des entreprises de l'extérieur ?	0	10	15	<u>20</u>	30
K- 250 Point possibles	Sous -score :			200	

L- Contrôle de l'activité	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'un tableau de bord vous permettant de décider des actions correctives à prendre ?	0	15	<u>20</u>	30	40
2- Existe-il des rapports réguliers de suivi des heures et de mains d'œuvres des agents de maintenance ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- Les performances du service maintenance sont-elles suivies ?	0	15	<u>20</u>	30	40
4- L'efficacité du potentiel de la maintenance est-elle contrôlée ?	0	10	15	<u>20</u>	30
5- Maîtrisez-vous votre charge de travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Disposez-vous des coûts de maintenance équipement par équipement ?	0	10	15	20	<u>30</u>
7- Le service maintenance dispose-t-il d'un outil de gestion informatisé de l'activité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Disposez-vous des informations de synthèse dans un délai suffisamment court ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Emettez-vous régulièrement (tous les mois ou annuellement) un compte rendu des activités ?	0	10	15	<u>20</u>	30
L- 300 Points possibles	Sous -score :			230	