



RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

Diplôme de Master Sciences et Techniques
Spécialité : Génie Mécanique et Productique

Thème :

Etude de l'augmentation de l'usure butée dans la GTA

Présenté par :

Echcherki Oussama et Mrakni Ayoub

Encadré par :

- Mr. A.Biyaali, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès*
- Mr. Jouied, Encadrant de la société OCP JORF LASFAR*

Effectué à : L'OCP EL Jadida

Devant le jury :

- | | |
|---------------------|--|
| • Pr. A. El Biyaali | Faculté des Sciences et Technique de Fès |
| • Pr. A. El Barkany | Faculté des Sciences et Technique de Fès |
| • Pr. B. Harras | Faculté des Sciences et Technique de Fès |

Année Universitaire : 2016-2017

Remerciements

Au terme de notre stage, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur le directeur du groupe OCP qui a accepté de nous recevoir au sein de son institution. Aussi, nos remerciements s'adressent à Mr I.GOUATI, chef responsable de la centrale thermique, qui a bien voulu nous encadrer durant toute la période du stage, ainsi que Mr Y. DJAZI, Mr BOUZID et Mr K.CHALAD pour les conseils qu'ils nous ont prodigués et ainsi pour le temps précieux qu'ils nous ont consacré malgré leurs charges et occupations.

Nos vifs remerciements s'adressent à Mr JOUIED, ainsi que Mr MIMOUNI et aussi à l'ensemble du personnel de Groupe OCP, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, et qui n'ont pas cessé de nous assister, par leur aide et leurs conseils précieux, afin de nous faciliter la tâche pour élaborer ce travail dans les conditions les plus favorables.

Enfin nous adressons notre profonde gratitude et notre estime à tout le corps d'enseignement au sein de l'a FST et spécialement à Mr M.BIYAALI, qui n'a ménagé aucun effort pour nous guider et qui nous a procuré toutes les connaissances nécessaires pour la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicaces

A nos très chers parents :

Aucun mot, aussi signifiant soit-il, ne saurait exprimer le degré d'amour, d'affection, de respect et de reconnaissance que nous éprouvons pour vous.

Votre présence à nos côtés nous a toujours apporté confiance et réconfort.

Puisse ce travail être le fruit de votre dévouement et vos sacrifices et un témoignage de nos gratitude et patience.

Que Dieu vous procure longue vie, avec bonheur et santé, vous protège, afin que vous demeuriez le soleil qui illumine notre vie.

A nos très chers frères et sœurs :

Nous vous souhaitons des rêves à n' en plus finir et l'envie furieuse d'en réaliser, vous avez toujours été pour nous d'une aide très précieuse, nous vous dédions ce travail en témoignages de notre grande affection.

A toute nos familles.

A tous nos amis.

A tous ceux qui ont confiance en nous.

Que tout le monde retrouve à travers ces quelques lignes, nos sincères sentiments et notre profonde reconnaissance.

LISTE DES FIGURES :

Figure 1: Carte géographique des sites miniers à travers le royaume	13
Figure 2 : Organigramme générale de la société	16
Figure 3: Papier de Weibul.....	25
Figure 4: Courbe Densité De Probabilité	27
Figure 5: Courbe De Fonction Répartition	28
Figure 6: Courbe De la Fonction Fiabilité.....	28
Figure 7: Courbe du taux de défaillance.....	29
Figure 8: Courbe de Maintenabilité.....	30
Figure 9: Courbe de disponibilité instantanée	31
Figure 10: Organigramme de l'évaluation de la fiabilité du système	32
Figure 11: bête a corne de la turbine	33
Figure 12: Diagramme de pieuvre.....	34
Figure 13: Turbine décortiqué.....	35
Figure 14: Diagramme FAST de la turbine.....	36
Figure 15: Pourcentage de défaillance pour chaque élément de la turbine	39
Figure 16: Courbe des fréquences cumulées.....	40
Figure 17: : Identification des zones ABC	41
Figure 18: Graphe évolution de l'usure de la butée et température de métal butée par rapport à la puissance active.....	42
Figure 19: Graphe de la puissance active par rapport à les ouvertures des soupapes HP et BP.....	43
Figure 20: Graphe de la puissance par rapport à la Dilatation différentielle.....	43
Figure 21: Graphe évolution de la dilation différentielle de l'arbre par rapport à des ouvertures des soupapes BP.	44
Figure 22: Images correspondant à la défaillance des patins.	45
Figure 23: Dessin d'ensemble des patins	54
Figure 24: Maillage des patins	54
Figure 25: Pression et moment exercées sur la face des patins	55
Figure 26: Evolution de déformation de la face des patins	56
Figure 27: Evolution des contraintes de la face des patins.....	56
Figure 28: Déplacement Total des patins	56
Figure 29: Flux de chaleur exerce sur les patins	57
Figure 30: Diagramme de la conductivité thermique en fonction du coefficient de dilatation thermique.....	58
Figure 31: Température maximale des utilisations des matériaux	59
Figure 32: Diagramme de la masse volumique en fonction de prix	60
Figure 33: Evolution de déformation et de Contrainte de la face des patins cuivré.....	62
Figure 34: Déplacement Total des patins	62
Figure 35: Algorithme de la methode.....	67
Figure 36: Tache d'huile	77

Liste des tableaux :

Tableau 1: Fiche synthétique.....	14
Tableau2: Fonction de réparation réelle	24
Tableau 3: densité de probabilité.....	27
Tableau 4: Fonction de defaillance.....	27
Tableau 5: Fonction de fiabilité.....	28
Tableau 6: Taux de defallance.....	29
Tableau 7: Fonction de maintenabilité	30
Tableau 8: Fonction disponibilité.....	31
Tableau 9: Fonctions contraintes.....	34
Tableau 10: Définition des numéros de classement pour les trois facteurs critiques (gravité, détection et occurrence) dans l'AMDEC	37
Tableau 11: Résultats de l'AMDEC.....	38
Tableau 12: Calcule des fréquences cumulées à partir du cumulé	39
Tableau 13: Valeurs des zones selon le ratio de discriminant.....	41
Tableau 14: Le rôle des additifs de l'acier fortement 3.5Ni Cr Mo V.....	46
Tableau 15: Composition chimique de 3.5Ni Cr Mo V	47
Tableau 16: Propriétés de 3.5Ni Cr Mo V.....	47
Tableau 17: Propriétés de la régule de base plomb à l'antimoine	53
Tableau 18: Evolution des résultats en fonction des pressions	55
Tableau 19: Propriétés du cuivre	61
Tableau 20: Evolution des résultats en fonction de pression.....	61
Tableau 21: Plan de maintenance selon la méthode HAZOP.....	69
Tableau 22: Plan de maintenance préventive lies à l'équipement	78
Tableau 23: Plans de maintenance conditionnelle liés à l'équipement.....	87

Table des matières

Introduction	9
Chapitre I : Présentation de l'organisme de l'accueil	10
1. Présentation	11
1.1. Historique	11
1.2. Secteur d'activité	11
1.3. Sites de production	12
1.4. Fiche synthétique	14
2. Présentation du complexe industriel Jorf Lasfar:	14
3. Description des ateliers de Maroc Phosphore.....	15
3.1. Flowsheet général :	16
3.2. Atelier sulfurique :	17
3.3. Atelier utilités	17
Caractéristique Physique	20
Chapitre II : Analyse FMD et RCM de la turbine à vapeur type 3350ECD831	22
1. Introduction :	23
2. Exploitation de l'historique.....	23
3. Loi de Weibull :	24
3.1. Calcule des paramètres de Weibull	24
4. Étude de modèle de Weibull :	27
4.1. La courbe de la densité de probabilité.....	27
4.2. Courbe fonction de répartition F(t) :	27
4.3. Courbe de la fiabilité :	28
4.4. Courbe du taux de défaillance	29
5. Calcul la Maintenabilité de la turbine	29
6. Calcul la disponibilité de la turbine.....	30
6.1. Disponibilité intrinsèque ou asymptotique	30
6.2. Disponibilité instantané :	31
7. Méthode de développement pour l'amélioration de la fiabilité de la turbine à vapeur.....	32
7.1. Analyse Fonctionnel de la Turbine :	33
7.2. Arbre fonctionnel :	35
7.3. Mode de défaillance et analyse des effets (AMDEC)	37
7.4. Analyse des données de l'entreprise.....	42

7.5. Remarque général :.....	44
8. Description du problème posé :.....	45
8.1. Problématique :.....	45
8.2. Analyse des causes racines :.....	46
9. Conclusion :.....	51
Chapitre III : Etude des patins par le logiciel ANSYS.....	52
1. Modélisation sous ANSYS :.....	53
1.1. Cahier de charge :.....	53
1.2. Modèle numérique des patins :.....	54
1.3. Maillage du modèle:.....	54
Cas de charge:	54
1.4. Résultats :.....	55
1.5. Conclusion :.....	57
2. Etude améliorative.....	57
2.1. Modélisation via CES :.....	57
2.2. Conclusion :.....	60
3. Analyse du patin sous ANSYS :.....	61
3.1. Propriétés du matériau :.....	61
3.2. Résultats :.....	61
4. Conclusion :.....	63
Chapitre IV : La maintenance du système.....	64
1. Introduction :.....	65
1.1. Importance de la maintenance pendant longtemps:.....	65
1.2. Objectifs de la maintenance :	66
2. Méthode HAZOP	66
2.1. Définition de la méthode HAZOP :.....	67
2.2. Principe de la méthode HAZOP :.....	67
2.3. Démarche:	67
2.4. Plan de maintenance selon la méthode HAZOP:.....	69
3. La maintenance par l'analyse des huiles :.....	72
3.1. Rôle et fonctions des lubrifiants:.....	73
3.2. Les additifs :.....	73
3.3. Analyse d'huile:.....	74
4. Plan de maintenance préventive liés à l'équipement	78
5. Plans de maintenance conditionnelle liés à l'équipement :.....	86
CONCLUSION GENERALE :	88

BIBLIOGRAPHIE 89

Annexes 90

 Annexe 1 : Paramètre de marche..... 90

 Annexe 2 : Poste d'huile 91

 Annexes 3 : Distribution de Weibull 92

Introduction

De façon générale, les machines tournantes sont souvent sujettes à des problèmes vibratoires, de désalignements et d'autres. Ceux-ci peuvent entraîner une usure prématurée voir, dans le pire des cas, une destruction de la machine.

Les turbines à vapeur sont particulièrement sensibles à ces problèmes. De par leurs dimensions souvent importantes, leurs diversités et la complexité des éléments en jeu (organes hydrodynamiques, efforts électromagnétiques, etc.), il peut être difficile d'identifier les causes de ces vibrations, de dilatation et d'avantage encore d'estimer l'ordre de grandeur des corrections nécessaires. Pour ces raisons, les maintenances sur ce type de machine peuvent être longues et donc coûteuses de par l'indisponibilité engendrée.

Ce projet a pour objectif le développement d'un outil numérique afin de mieux appréhender les phénomènes physiques en jeu ainsi que les défauts pouvant être à l'origine d'un niveau de déplacement anormal.

Pour cela, on étudiera dans un premier temps la fiabilité la disponibilité et la maintenabilité de la turbine au niveau de la centrale thermique, ainsi qu'on va utiliser des méthodes visant à assurer les fonctions et maximiser la disponibilité de cette dernière en essayant d'établir un bilan du système, afin d'identifier les principaux sous-ensembles critiques.

Le troisième chapitre va être consacré à l'étude des patins afin de comprendre mieux le comportement de matériaux qui le compose sous des conditions de travail critiques afin de choisir le matériau le plus adapté.

Le dernier chapitre qui concerne la maintenance du système on utilisera des méthodes d'identification des dangers potentiels d'un système et d'identifier les éventuels risques d'exploitation afin d'éviter l'apparition d'événements non souhaités et enfin, on terminera notre projet avec un plan de maintenance.

Chapitre I : Présentation de l'organisme de l'accueil

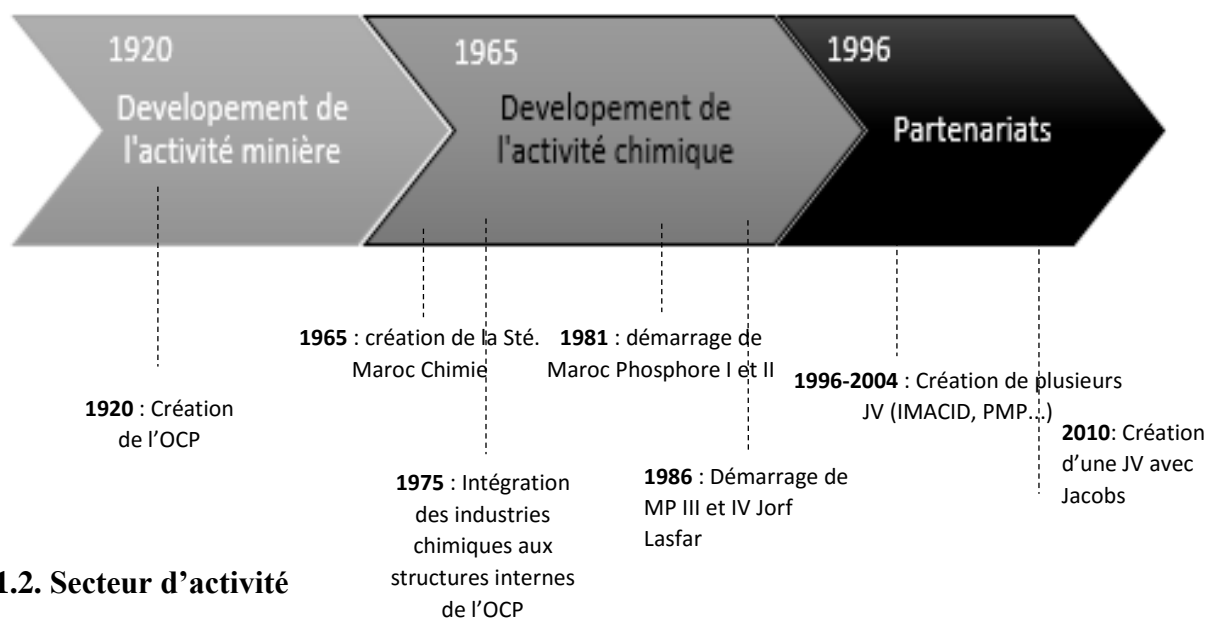
1. Présentation

Fondé en 1920, l'Office Chérifien des Phosphate, devenu Groupe OCP puis OCP SA, est le premier groupe minier marocain. C'est un acteur incontournable sur le marché mondial des phosphates et de ses produits dérivés. Présent sur toute la chaîne de valeur, il est le premier exportateur mondial de roches et d'acide phosphorique.

OCP SA compte actuellement plus de 23000 collaborateurs implantés au Maroc sur plusieurs sites miniers et complexes chimiques ainsi que sur d'autres sites internationaux.

Enfin, le groupe OCP SA joue un rôle primordial dans l'économie marocaine et contribue à près de 20% des exportations du pays.

1.1. Historique

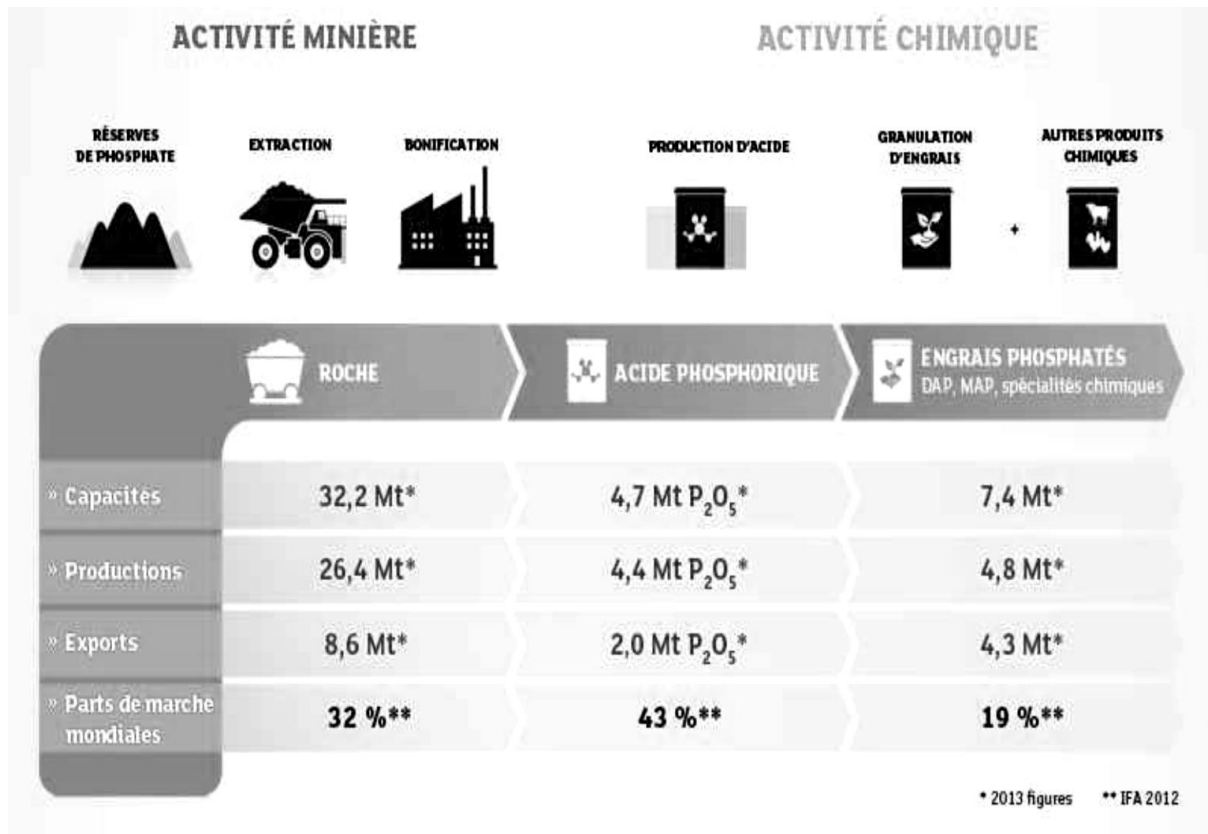


1.2. Secteur d'activité

L'activité du groupe OCP SA comprend deux volets :

- Minier : exploitation, traitement et expédition du phosphate
- Chimique : production d'acide phosphorique et d'engrais dérivés du phosphate

L'activité minière du groupe ne représente plus que les 25% du chiffre d'affaire, suite au développement de l'activité chimique à partir des années 1960. Les produits, qu'il s'agisse de phosphate ou ses dérivés, sont commercialisés à l'international, plus de 90% de la production étant destinée à l'export.



Le groupe OCP est un acteur majeur du marché du phosphate. Il détient plus de la moitié des parts de marchés pour ce qui est de l'acide phosphorique et plus du tiers du marché du phosphate brut.

1.3. Sites de production

Le groupe OCP SA dispose de 3 sites miniers et de 2 complexes industriels de valorisation du phosphate. Les principales mines d'extraction du phosphate sont situées à Khouribga (Oulad Abdoun), à Youssoufia (Gantour) ainsi qu'à Boucraa-Layoune.

En outre, le groupe OCP dispose de quatre ports d'embarquement pour l'expédition de ses produits :

- Casablanca : pour les produits d'OuladAbdoun (Khouribga)
- JorfLasfar : pour les produits locaux
- Laayoune : pour les produits de Boucraa
- Safi : pour les produits de Gantour

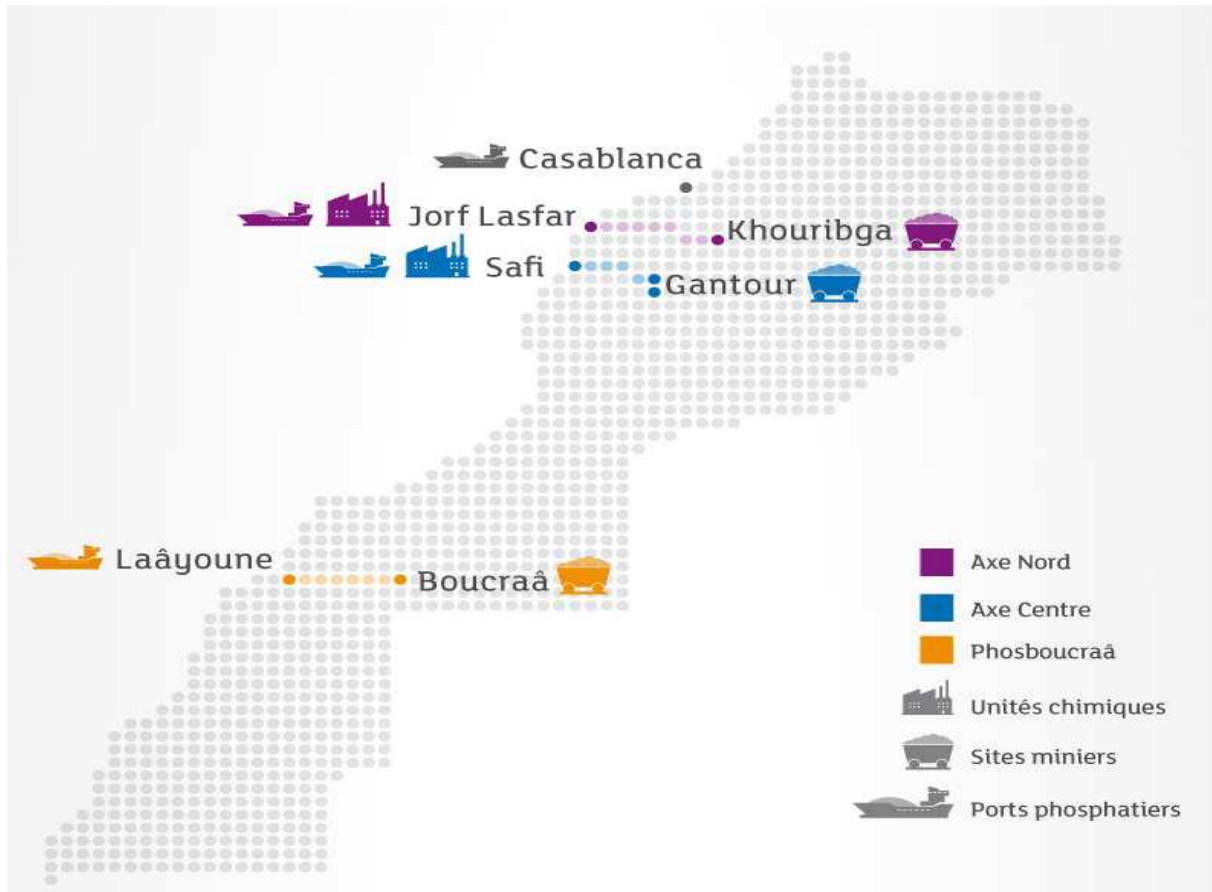


Figure 1: Carte géographique des sites miniers à travers le royaume

1.4. Fiche synthétique

Nom de l'entreprise	OCP S.A
N° de registre de commerce	Casablanca 40.237
Date de création	07/08/1920
Siège social	Angle Route d'El Jadida et Bvd de la Grande ceinture BP 5196, Casa Maarif, Casablanca
PDG	M. Mustapha Terrab
Effectif	22 677, dont 725 ingénieurs
Chiffre d'affaire 2016	46,0 milliards MAD
Production 2016	<ul style="list-style-type: none">• Roche : 26,4 MT• Acide phosphorique : 4,4 MT P2O5• Engrais : 4,8 MT
Part de marché d'exploitation de phosphate sous toute forme 2015	28%

Tableau 1: Fiche synthétique

2. Présentation du complexe industriel Jorf Lasfar:

Situé sur le littoral atlantique, à 20km au Sud-Ouest d'El Jadida, le complexe industriel de Jorf Lasfar a vu le jour en 1986 et a permis au groupe OCP de doubler sa capacité de valorisation des phosphates.

Le site, qui s'étend sur plus de 1700 hectares, a été choisi pour diverses raisons : proximité du site minier de Khouribga, existence d'un port profond, disponibilité d'eau de mer et de réserves d'eau douce, possibilité d'extensions futures

Actuellement, la production annuelle du complexe de JorfLasfar s'élève à plus de :

- 1,7 millions de tonnes d'acide phosphorique
- 1,8 millions de tonne équivalent DAP

Et nécessite la transformation de :

- 1,7 millions de tonnes de soufre
- 0,5 millions de tonnes d'ammoniac
- 6,5 millions de tonnes de phosphate

En vue d'augmenter sa capacité de production, le groupe OCP SA s'est associé avec le groupe indien BIRLA, donnant lieu à la création d'une nouvelle usine nommée IMACID. Avec l'arrivée de nouveaux partenaires brésiliens et pakistanais, le site dispose actuellement de 5 usines :

- EMAPHOS
- Indo Maroc Phosphore S.A (IMACID)
- PAKISTAN MAROC PHOSPHORE (PMP)
- BUNGE MAROC PHOSPHORE (BMP)
- Maroc Phosphore (MP) III et IV

3. Description des ateliers de Maroc Phosphore

Maroc Phosphore (MP) III et IV : L'usine MPIII-IV est composé de :

- Atelier sulfurique : production d'acide sulfurique, de vapeur HP et MP
- Atelier phosphorique : production d'acide phosphorique 29% et 54%
- Atelier engrais : production d'engrais (MAP, DAP, TSP, ASP, NPK)
- Atelier utilités, comprenant :
 - Centrale thermoélectrique : production d'électricité et production ainsi que gestion de vapeur MP
 - Station de traitement des eaux
 - Station de compression d'air
 - Station de pompage d'eau de mer : pompage d'eau de mer utilisée pour le refroidissement
 - Une station de reprise d'eau de mer : distribution de l'eau de mer aux unités du complexe.

3.1. Flowsheet général :

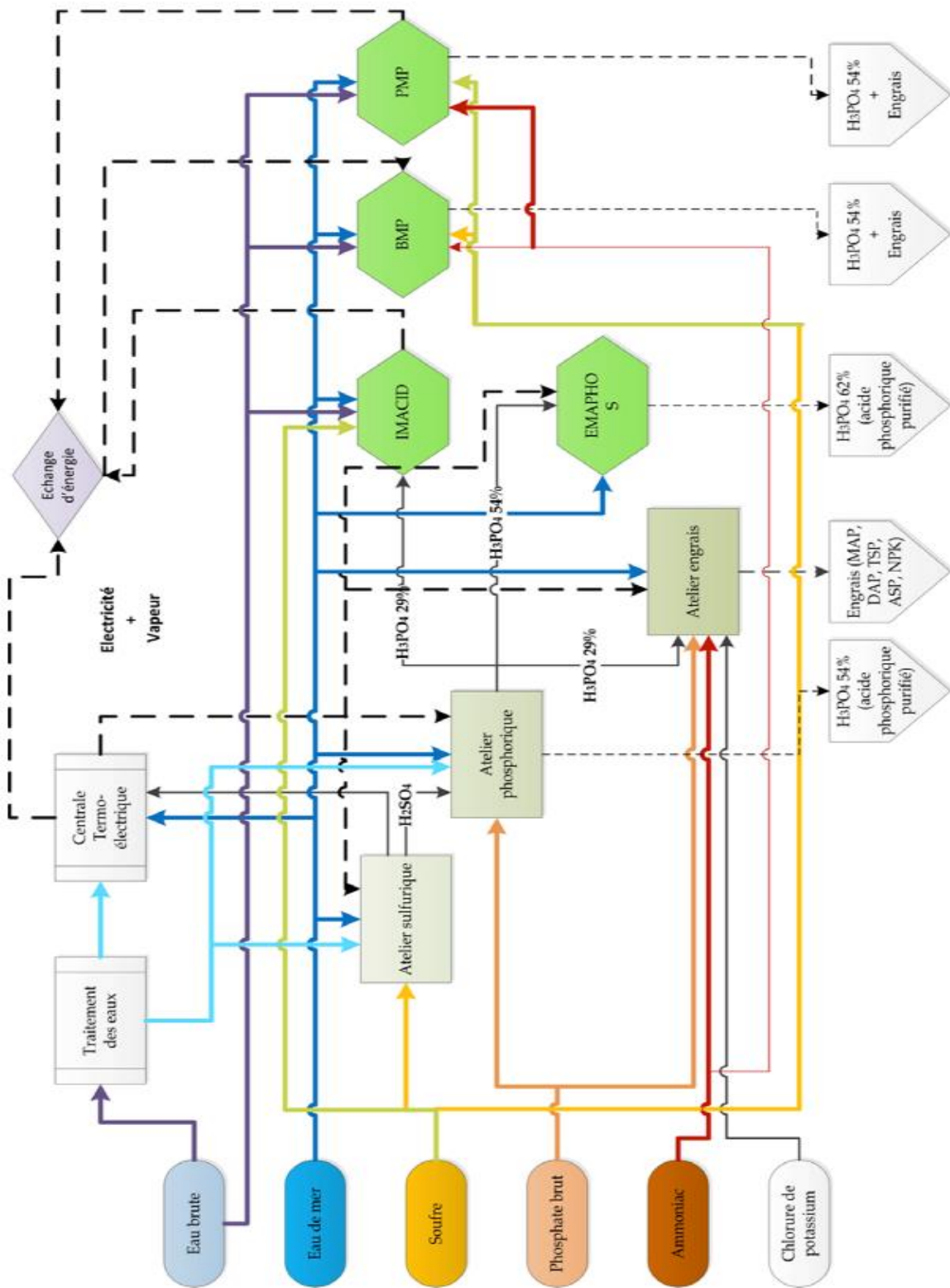


Figure 2 : Organigramme générale de la société

3.2. Atelier sulfurique :

L'atelier sulfurique est constitué de six lignes de production, leur but est la fabrication d'acide sulfurique à partir du soufre, et la production de l'énergie calorifique sous forme de vapeur d'eau haute et moyenne pression qui sera utilisé par la centrale thermoélectrique pour la production d'électricité.

3.2.1. Capacité de production

Nombre des lignes de production	6
Capacité unitaire	2650 TMH/j
Procédé	Double absorption
Capacité de production de vapeur HP	135 T/h/unité
Capacité de production de vapeur MP	40 T/h/unité

3.2.2. Description du procédé :

Le soufre, provenant de l'unité de fusion, arrive à l'état fondu et est introduit dans un four à briques réfractaires dont la température atteint 1200°C dans lequel a lieu la combustion. L'air de combustion est aspiré par une turbosoufflante et injectée dans la chambre de combustion.

Les réactions mises en jeu sont très exothermiques et constitue une source d'énergie pour le complexe. En effet, lors de la réaction de combustion, la chaleur des fumées est récupérée par une chaudière et sert à produire de la vapeur HP avec un débit de 135T/h. Une partie de cette vapeur est détendue dans une turbosoufflante à raison de 40T/h, afin d'aspirer l'air nécessaire à la combustion du soufre.

3.3. Atelier utilités

L'atelier des Utilités a pour objectif la production et la gestion des différentes utilités nécessaires à la production des produits intermédiaires et finis. Ces utilités sont : l'énergie électrique, différentes qualités de vapeur, différentes qualités d'eau, eau de mer haute pression, eau de mer basse pression, air comprimé, fioul et gasoil.

3.3.1. Caractéristiques des utilités

Vapeur HP	[58 bars ; 480°C]
Vapeur HP	[9,5 bars ; 250°C]
Vapeur HP	5,5 bars ; 155°C]
Eau de mer	[16 – 20°C ; HP et BP]
Eau (exemple : eau désilicée)	<ul style="list-style-type: none">• Salinité totale : 1mg/l maximum ;• Conductivité à 25 °C : 5µs/cm moyenne sur le cycle ;• Silice : 0,020 mg/maxi

3.3.2. Centrale thermoélectrique

La centrale thermoélectrique est conçue pour assurer les fonctions suivantes :

- La production et la distribution de l'énergie électrique à partir des **GTA**
- La production et la gestion de la vapeur
- La production et la distribution de l'eau alimentaire et condensats
- La réfrigération des auxiliaires du complexe

3.3.2.1. Groupe turbo alternateur (GTA) :

La centrale thermoélectrique dispose de trois groupes turbo alternateurs (GTA) d'une puissance de 37MW chacun, et d'une tension de 10 KV, qui assurent la détente de la vapeur HP produite par les six chaudières de récupération de l'atelier sulfurique en transformant l'énergie thermique de cette vapeur en énergie électrique. Chaque GTA est constitué de :

a. Une turbine à vapeur

C'est une machine motrice dans laquelle un fluide (vapeur) produit le travail moteur par le seul effet de son écoulement, les forces propulsives provenant de cet écoulement étant directement appliquées à un organe moteur (rotor).

Dans les turbines à vapeur alimentées à partir d'un générateur de vapeur, la pression initiale est toujours élevée. Quant à la température d'admission est liée à la nature et les caractéristiques des matériaux utilisés.

La turbine installée à la centrale thermoélectrique de PCJ est une turbine à action multicellulaire à soutirage et à condensation dotée de deux corps : HP « haute pression » et BP « basse pression » où une quantité de vapeur MP est soutirée du premier étage tandis qu'une autre de vapeur BP est soutirée à partir du dernier étage.

Elle transforme l'énergie calorifique de la vapeur en travail, cette transformation n'est pas effectuée directement, l'énergie calorifique étant tout d'abord convertie en énergie cinétique par la détente de la vapeur dans un aubage fixe, 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 mobile de la roue sous un angle convenable permettant d'obtenir le meilleur rendement possible.

Chaque turbine est équipée d'un système d'étanchéité constitué par deux boîtes de types à labyrinthe qui sont installées aux deux extrémités de l'arbre. Ce système est destiné à :

- Empêcher toute entrée d'air dans la turbine pendant le démarrage ainsi que pendant la marche normale
- Empêcher toute fuite de la vapeur vers les paliers de la turbine
- Récupérer les fuites de vapeur.

Elle a les caractéristiques suivantes :

Paramètre de marche	Garantie	Optimum
- Pression Vapeur admission	55 bars	55 bars
- Température vapeur admission	488°C	488°C
- Pression soutirage	9,5 bars	9,5 bars
- Température soutirage	276°C	283°C
- Pression vapeur échappement	0,068 bar	0,049 bar
- Température vapeur échappement	38°C	32°C
- Débit vapeur admission	190 t/h	165 t/h
- Débit vapeur soutirage	100 t/h	120 t/h
- Débit vapeur échappement	90 t/h	45 t/h
- Vitesse de rotation	3 000 tr/mn	3 000 tr/min
- Vitesse de déclenchement (survitesse)	3 300 tr/mn 1 850 tr/mn	
- 1 ^{ière} Vitesse critique		
- 2 ^{ième} Vitesse critique	37 000 Kw	25 400 KW
- Puissance		

Caractéristique Physique

- Nombres d'étages	: 8 (HP) + 8 (BP)
- Nombre de lechettes tournantes DN 450	: 206
- Nombre de lechettes tournantes DN 650	: 68
- Nombre de lechettes périphériques	: 216
- Nombres de directrices	: 16
- Nombres d'aubes mobiles	: 2 668
- Nombres d'arcs d'injection	: 4 (HP) + 2 (BP)
- Diamètre conduite admission	: 250
- Diamètre conduite soutirage	: 500
- Dimension échappement vapeur	: 1 460 x 3 830
- Dimension coussinets admission	: Φ 250 lisse
- Dimension coussinets échappement	: Φ 280 lisse
- Butée type	: JJ 15"
- Poids corps supérieur	: 35 000 Kg
- Poids rotor nu	: 11 800 Kg
- Poids rotor aubé	: 13 567 Kg
- Poids ensemble turbine	: 90 000 Kg

b. Un alternateur

Générateur de courant électrique alternatif destiné à transformer l'énergie mécanique en énergie électrique (37 MW ; 10 KV). Il est équipé de :

- Un rotor qui tourne à l'intérieur du stator (bobines fixes) à une vitesse constante de 3000tr/min
- Deux réfrigérants et d'un Groupe moto-ventilateur de soufflage d'air ambiant pour assurer le refroidissement de l'alternateur (la source froide est l'eau de NORIA)
- Une excitatrice des bobines à courant continu

Ces caractéristiques sont présentées dans l'annexe 1

c. Un poste d'huile de graissage

Ce poste est dimensionné pour assurer la lubrification continue de l'ensemble de la ligne d'arbre du GTA à une pression de 1.7 bars.

Les principales fonctions du circuit d'huile de lubrification sont:

- Le graissage des paliers et des butées des turbines.
- Caisse à huile équipée d'un système de réchauffage électrique.
- Deux motopompes auxiliaires.
- Une pompe ultime secours à courant continu.
- Deux réfrigérants d'huile à eau de NORIA capables d'éliminer la totalité des calories produites, dotés d'un by-pass partiel régulé par une vanne thermostatique.
- Deux filtres d'huile.

d. Un poste d'huile de régulation

Une centrale d'huile HP extérieure séparée du dispositif assure l'alimentation du système des soupapes d'admission à une pression de 130 bars. Son rôle est d'assurer l'énergie motrice nécessaire au servomoteur hydraulique de la vanne de régulation (les soupapes d'admission HP). La centrale HP d'huile de régulation est composée essentiellement de (voir annexe 2):

- Une caisse à huile en acier
- Deux groupes AC motopompes volumétriques. En marche normale, une seule pompe est en service, l'autre est en réserve.
- Un accumulateur : son rôle est le maintien de la pression pendant les périodes transitoires de la reprise de la pompe de secours.
- Un filtre double.
- Un groupe de réfrigération.

Chapitre II : Analyse FMD et
RCM de la turbine à
vapeur type 3350ECD831

1. Introduction :

Positionner la maintenance au sein du service de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de le faire dans un environnement complexe. C'est l'objectif de ce chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de la turbine à vapeur type 3350 ECD 831 de faire face à l'étude expérimentale des indicateurs FMD de telle turbine tout en traçons les courbes de ces trois indicateurs ainsi de réaliser une étude AMDEC afin d'extraire les éléments critiques de cette dernière.

2. Exploitation de l'historique

L'historique de panne turbine :

Le traitement des données brutes de l'historique (tableau II.1) passe par :

- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation(TTR)

Table1 : historique de la turbine

Date d'arrêt	Date de démarrage	TTR (h)	TBF (h)
23/07/2009	15/10/2009	520	5184
07/03/2010	03/06/2010	120	3552
04/04/2011	08/06/2011	240	7944
28/03/2012	12/04/2012	192	7152
30/07/2014	10/10/2014	484	12072
20/03/2015	05/04/2015	127	3912
27/07/2015	04/08/2015	26	2832
09/01/2016	17/03/2016	349	3024
25/03/2016	25/03/2016	05	192
24/04/2016	31/05/2016	35	720
15/08/2016	01/12/2016	204	1752
24/01/2017	_____	_____	1056

3. Loi de Weibull :

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

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

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

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

3.1. Calcule des paramètres de Weibull

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les $F(i)$ calculés par la méthode des ranges médians $F(i) = \frac{\sum n_i - 0,3}{N + 0,4}$ (dans notre cas $N = 12 \leq 20$) et on trace la courbe de Weibull :

Tableau2: Fonction de réparation réelle

N⁰	TBF(h)	n_i	∑n_i	F(i)	F(i)%
1	72	01	01	0.0564	5.64
2	720	01	02	0.1370	13.70
3	1056	01	03	0.2177	21.77
4	1752	01	04	0.2983	29.83
5	2832	01	05	0.3790	37.90
6	3024	01	06	0.4596	45.96
7	3552	01	07	0.5403	54.03
8	3912	01	08	0.6209	62.09
9	5184	01	09	0.7016	70.16
10	7152	01	10	0.7822	78.22
11	7944	01	11	0.8629	86.29
12	12072	01	12	0.9443	94.43

A partir de papier de Weibull, (Figure 3)

On peut déduire les paramètres : β , η et γ .

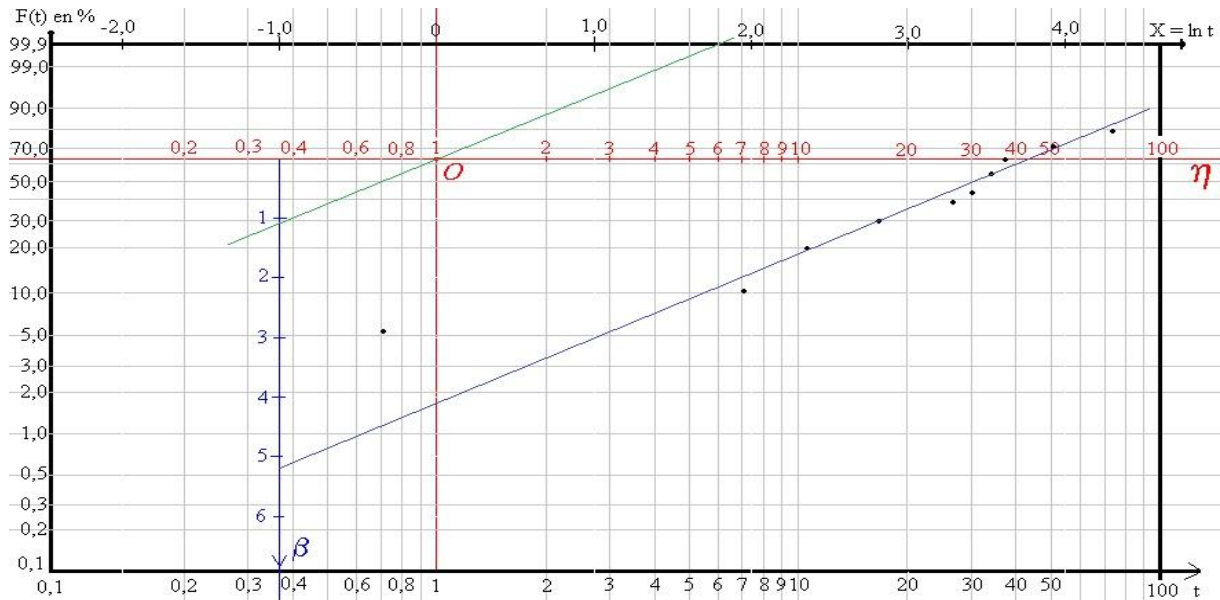


Figure 3:papier de Weibul

Exploitation des paramètres de WEIBULL :

a. Recherche de η

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

$$\eta = 4445 \text{ h.}$$

b. Recherche de β

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

- $\beta = 1.1$

c. Recherche de γ

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

3.1.1. Le MTBF

C'est l'espérance mathématique du temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

Le tableau de MTBF donne A= 0.9649 ; B=0.878 (voir annexe 3).

Avec $\beta = 1.1$ et $\eta = 4445$

$$\text{MTBF} = A.\eta + \gamma.$$

$$\text{MTBF} = 0.9649 \times 4445 + 0$$

$$\text{MTBF} = 4289 \text{ h.}$$

3.1.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF :

C'est la probabilité pour qu'un événement arrive dans un intervalle de temps donné

$$f(t=\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 0.0000942 = 0.00942\%$$

3.1.3. La fonction de réparation en fonction de MTBF

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i

$$F(t_i) = \Pr(T < t_i)$$

Notons que ces deux fonctions sont complémentaires :

$$F(t) + R(t) = 1$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

$$F(t=\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left(\frac{4289}{4500}\right)^{1.1}} = 0.617 = 61.7\%$$

3.1.4. La fiabilité en fonction de MTBF :

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

$$R(t=\text{MTBF}) = 1 - F(t=\text{MTBF}) = 100 - 61.7 = 38.23\%$$

On remarque que la fiabilité de la turbine est faible.

3.1.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = 0.00022465 \text{ panne/heure}$$

4. Étude de modèle de Weibull :

4.1. La courbe de la densité de probabilité

Tableau 3: densité de probabilité

TBF	78	720	1056	1752	2832	3024	3552	3900	5100	7100
f(t)	16.674	18.047	17.562	16.401	12.949	12.435	11.201	10.2074	7.839	4.863

***10⁻⁵**

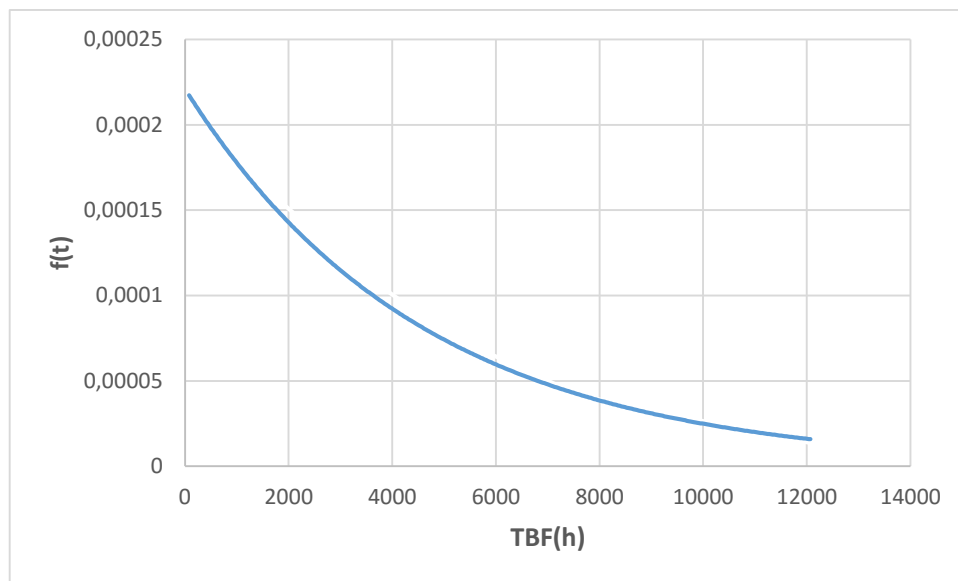


Figure 4: Courbe Densité De Probabilité

D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) diminue avec le temps.

4.2. Courbe fonction de répartition F(t) :

Tableau 4: Fonction de défaillance

TBF	70	700	1000	1700	2800	3000	3500	3900	5000	7100	7900	12000
F(t)	0.01	0.12	0.17	0.29	0.45	0.47	0.536	0.579	0.679	0.812	0.847	0.949

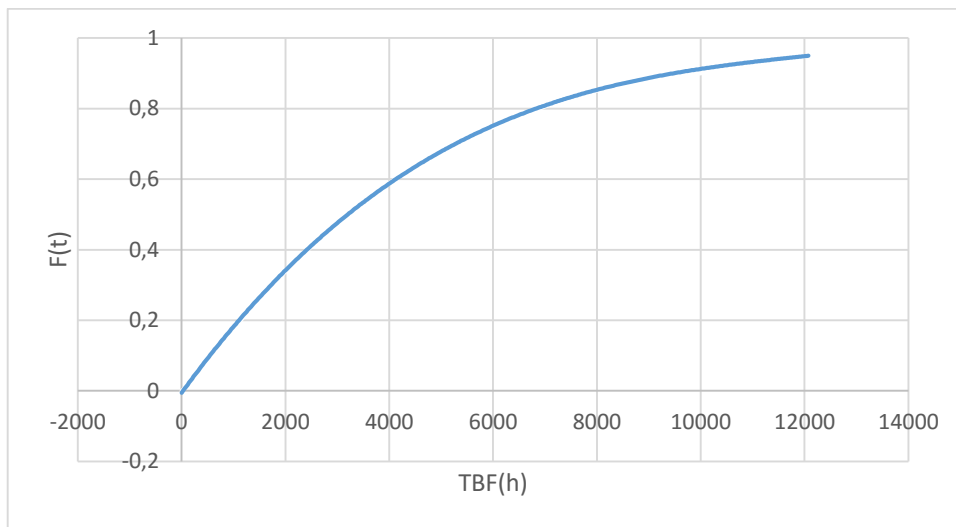


Figure 5: Courbe De Fonction Répartition

4.3. Courbe de la fiabilité :

La fonction fiabilité de celle de répartition: $R(t) = 1 - F(t)$.

Après le calcul de la fiabilité de la turbine à $t=MTBF$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la turbine n'est pas fiable à $t=MTBF$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad R(t=MTBF) = 38.3 \%$$

Tableau 5: Fonction de fiabilité

TBF	70	700	1000	1700	2800	3000	3500	5000	7100	7900	12000
R(t)	0.989	0.877	0.823	0.70	0.54	0.52	0.46	0.32	0.18	0.152	0.050

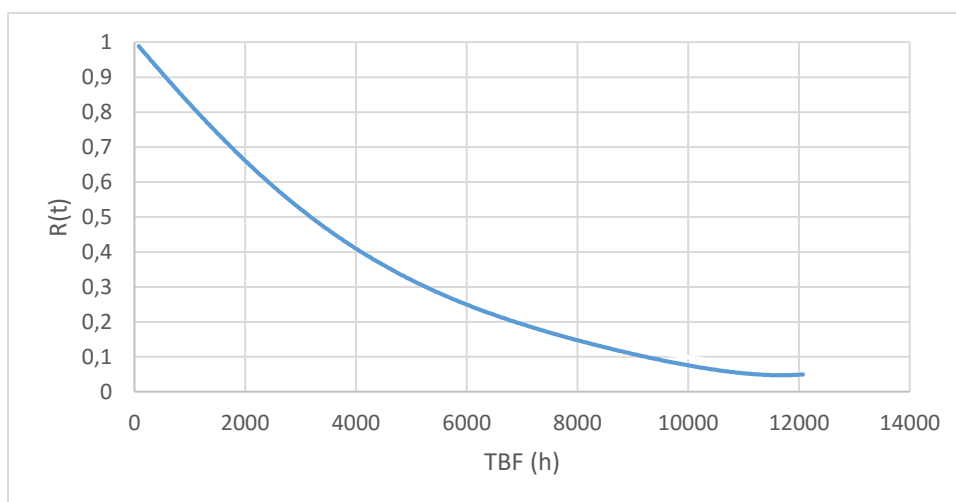


Figure 6: La Courbe De la Fonction Fiabilité

4.4. Courbe du taux de défaillance

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

Tableau 6: Taux de défaillance

TBF	70	700	1000	1700	2800	3000	3500	5000	7100	7900	12000
$\lambda(t)$ $*10^{-5}$	16.34	20.57	21.31	22.47	23.62	23.79	24.16	25.04	25.93	26.21	27.33

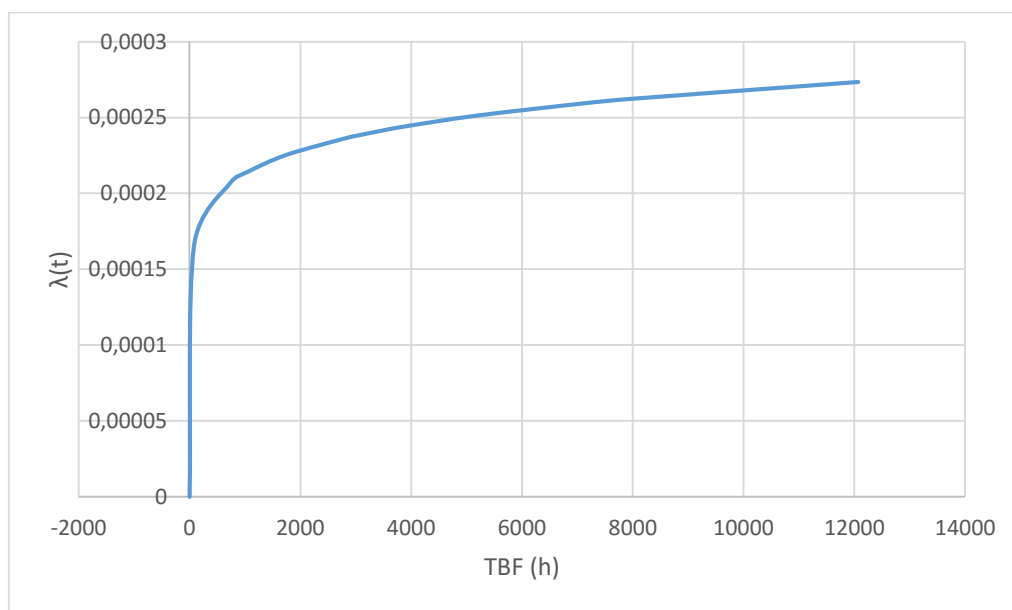


Figure 7: La courbe du taux de défaillance

Puisque le paramètre de forme $\beta = 1.1$ alors on constate que c'est normal d'avoir un taux de défaillance qui croît avec le temps.

5. Calcul la Maintenabilité de la turbine

D'après l'historique des pannes de la turbine:

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

TR : temps de réparation.

N : nombre de panne.

$$MTTR = 2302/12 = 191.83 \text{ h.}$$

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

Avec $\mu = 1/MTTR = 1/191.83 = 5.213 \cdot 10^{-3}$ intervention / heure.

Tableau 7: Fonction de maintenabilité

TTR	10	20	40	100	200	300	500	700	900	1000	1200
M(t)	0.05	0.099	0.188	0.268	0.406	0.647	0.926	0.973	0.990	0.994	0.998

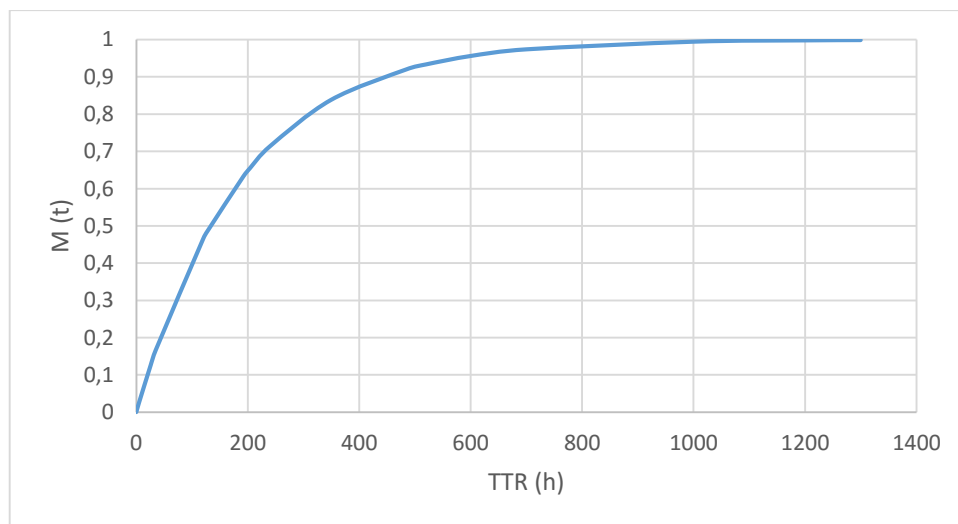


Figure 8: La Courbe de Maintenabilité

La courbe de distribution de probabilité de maintenabilité pour la turbine à vapeur est présentée à la figure 8. L'analyse de la base de données de défaillance montre que la turbine a un temps moyen de réparation élevé. La disponibilité de la turbine à vapeur peut être estimée après la fiabilité et la maintenabilité. Dans le cas d'une turbine à vapeur dans une centrale thermique, la disponibilité est évaluée à l'échéance. Un système peut générer la puissance nominale. Le temps moyen de bon fonctionnement et le temps moyen de réparation sont deux paramètres qui contrôlent la disponibilité de la turbine à vapeur.

6. Calcul la disponibilité de la turbine

6.1. Disponibilité intrinsèque ou asymptotique

$$D_a = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{4289}{4289 + 191.83} = 0.95718$$

6.2. Disponibilité instantané :

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

$$\lambda = 1/MTBF = 0.224 * 10^{-3}$$

$$\mu = 1/MTTR = 5.213 * 10^{-3}$$

$$\mu + \lambda = 5.437 * 10^{-3}$$

$$D(t) = \frac{5.213 * 10^{-3}}{5.437 * 10^{-3}} + \frac{0.224 * 10^{-3}}{5.437 * 10^{-3}} e^{-(0.224 * 10^{-3} + 5.213 * 10^{-3})t}$$

Tableau 8: Fonction disponibilité

T (h)	0.1	1	5	10	50	100	300	600	800	900	1000
D (t)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95

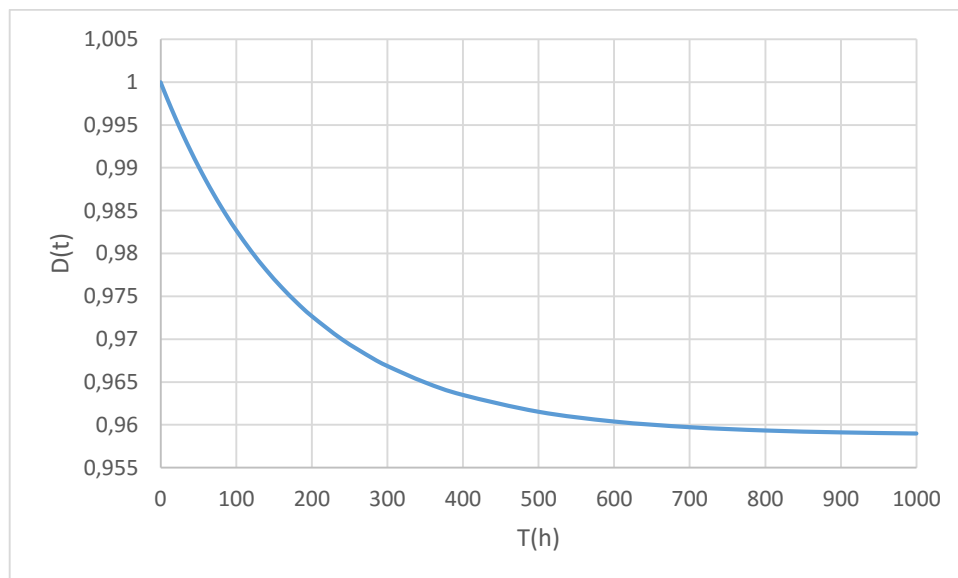


Figure 9: Courbe de disponibilité instantanée

La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'une turbine consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenté sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenté sa maintenabilité).

7. Méthode de développement pour l'amélioration de la fiabilité de la turbine à vapeur

La fiabilité de la turbine peut s'améliorer en utilisant les concepts de La maintenance centrée sur la fiabilité (MCF), communément appelée RCM pour « Reliability Centered Maintenance », c'est une approche de maintenance de dernière génération visant à assurer la fonction et à maximiser la disponibilité de l'actif au meilleur coût possible, en procédant au bon entretien au bon moment. L'objectif n'est pas nouveau.

L'approche d'entretien préventif, qui a pris son essor dans les années 1950 et 1960 avec la forte poussée de la mécanisation de l'industrie, consiste sommairement à effectuer certaines tâches d'entretien à intervalles prédéterminés dans le but de prévenir un bris.

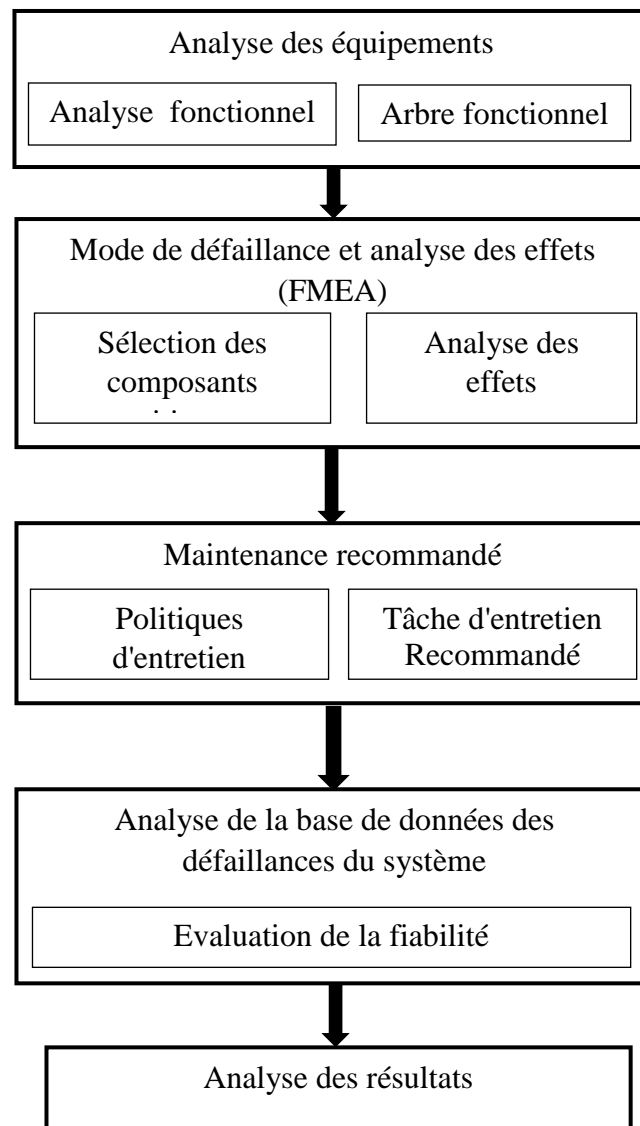


Figure 10: Organigramme de l'évaluation de la fiabilité du système

Le concept de fiabilité du système comprend le développement d'un arbre fonctionnel, l'utilisation de l'analyse des effets et des défauts de fonctionnement (AMDEC) et de recommandations de maintenance. L'organigramme (Figure 10) sert à illustrer les étapes les plus importantes de la méthode d'analyse de la fiabilité du système. La première étape de la méthode est de faire l'analyse fonctionnelle de la turbine ainsi que la préparation d'un arbre fonctionnel qui nous permettra l'organisation des liaisons fonctionnelles entre les sous-systèmes de l'équipement.

7.1. Analyse Fonctionnel de la Turbine :

a. Expression du besoin :

Notre rôle c'est d'utiliser des démarches permettant d'aborder cette complexité pour pouvoir étudier, et améliorer le comportement du système.

b. Identification du besoin

Enoncé du besoin :

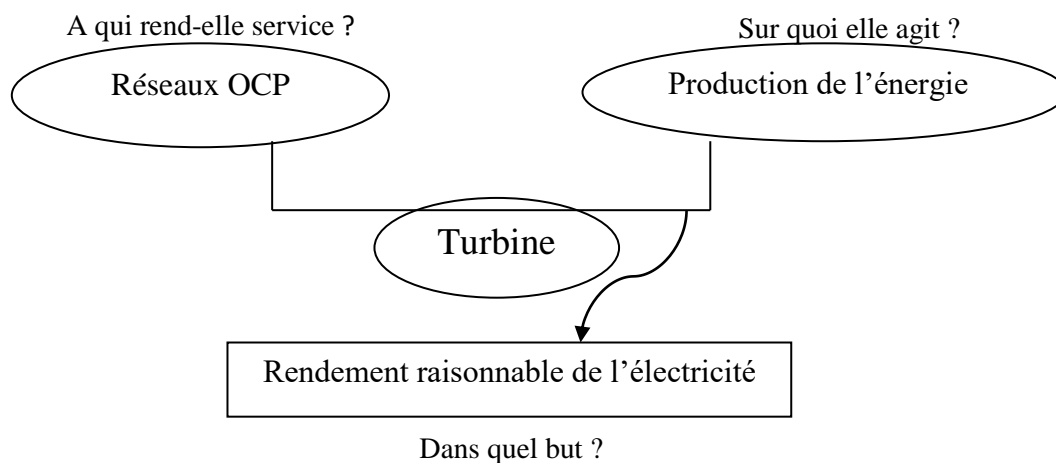


Figure 11:bête a corne de la turbine

c. Identification des fonctions de service :

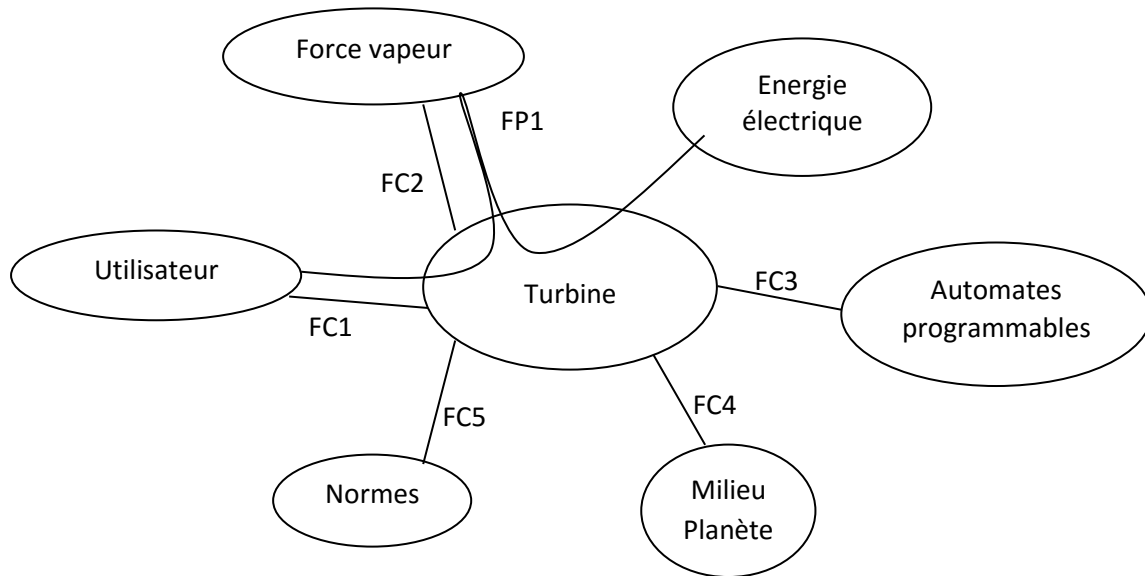


Figure 12:Diagramme de pieuvre

P1 : transformer le flux de vapeur en énergie mécanique pour le transformer à son tour en énergie électrique et alimenter le réseau de l'utilisateur.

Fonctions et contraintes	Critères d'appréciation	Niveau
FC1 Bon fonctionnement	Vitesse de rotation Vibration	3000 tr/min 0um<VIB<200um
FC2 S'adapter à la vapeur	Résistance à la température et la pression	HP=(488°C, 55bar) BP=(276°C, 9.5bar)
FC3 Enregistrement des données relatifs déplacement, température, dilatation, etc.	Détection facile et simple	Enregistrement sur PC
FC4 Respecter la nature	Bruit Matériaux	Bruit < 120 DB
FC5 Respecter les normes	Sécurité	Biens et personnes

Tableau 9: Fonctions contraintes

7.2. Arbre fonctionnel :

L'arbre fonctionnel de la turbine à vapeur est divisé en cinq systèmes principaux: section de haute et basse pression, système de logement (boitier), section d'étanchéité,

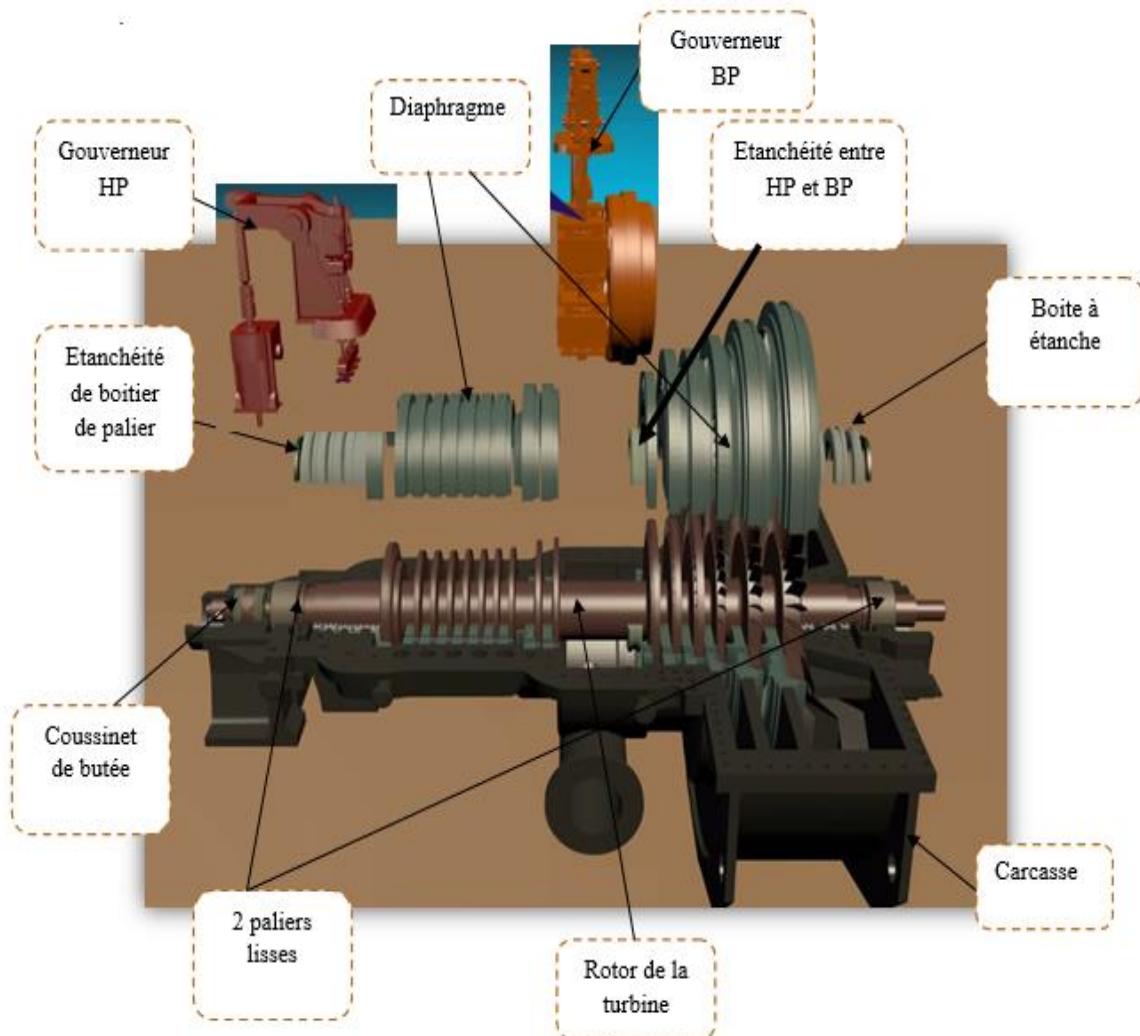


Figure 13: Turbine décortiquée

couplage système à lames. Chaque système principal est divisé en sous-section comme la montre la figure si dessous:

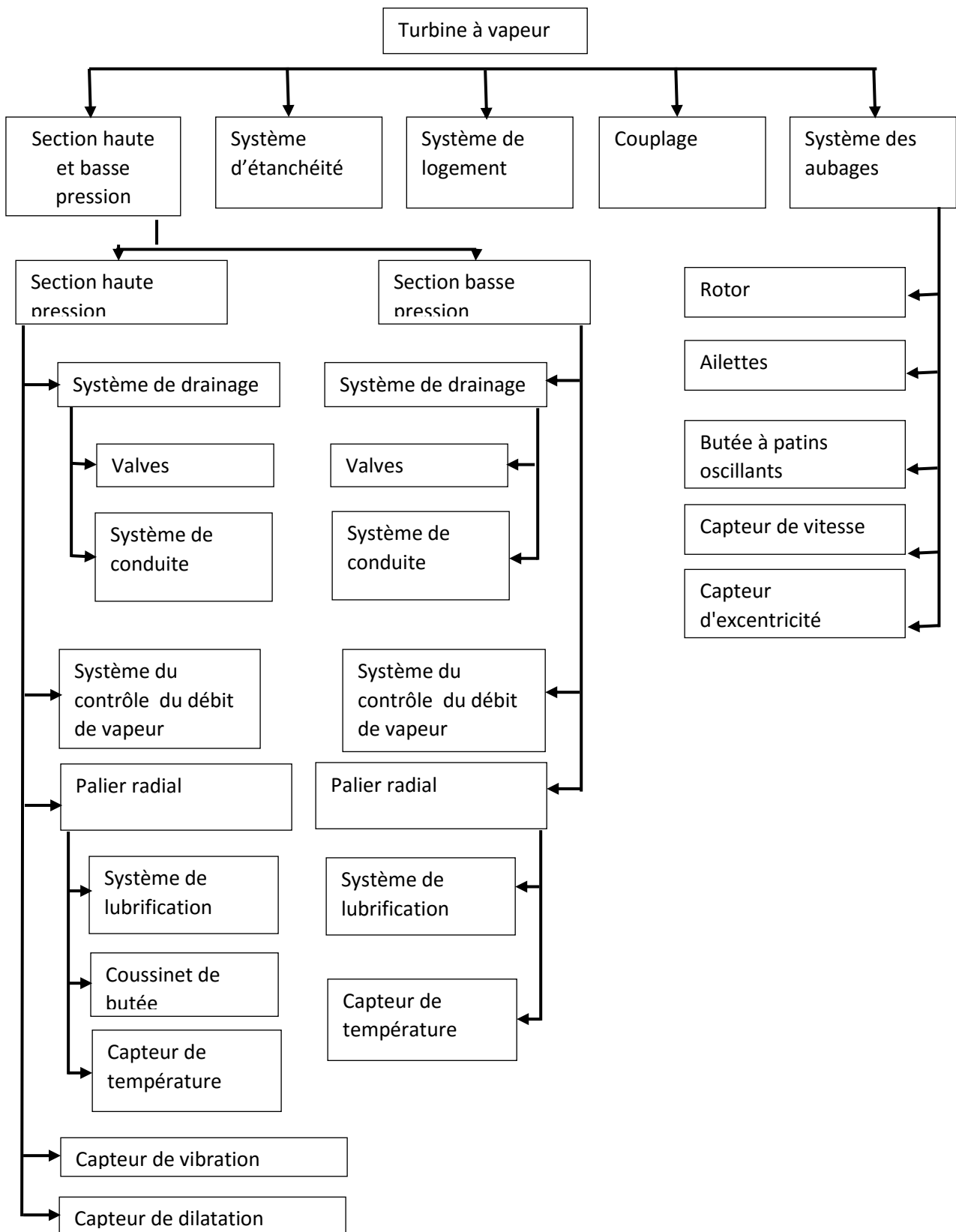


Figure 14: Diagramme FAST de la turbine

7.3. Mode de défaillance et analyse des effets (AMDEC)

L'identification des composants critiques :

Les résultats d'une AMDEC qui a été menée pour les turbines à vapeur sont représentés dans ce chapitre. L'AMDEC est basé sur des rapports de maintenance, des entretiens et des rencontres avec les employés afin d'identifier autant de défaillances que possible. La résolution de l'AMDEC est au niveau des composants pour voir où une analyse supplémentaire est nécessaire au niveau partiel. Chacun des facteurs critiques donnait un classement qui peut être vu dans le tableau allant de 1 à 5. Le classement était personnalisé pour couvrir la gamme des données présentes pour la Turbine à vapeur adapté du livre the Basics of FMEA. En multipliant les trois facteurs critiques (gravité x occurrences x détections).

Tableau 10: Définition des numéros de classement pour les trois facteurs critiques (gravité, détection et occurrence) dans l'AMDEC

Gravité		Détection	
1	Négligeable ou sans effet.	1	Les contrôles de conception sont presque certains pour détecter une cause potentielle et un mode de défaillance ultérieur.
2	L'opérateur a un impact négatif mineur sur le processus.	2	La chance élevée que les contrôles de conception détecteront une cause potentielle et un mode de défaillance ultérieur.
3	Turbine exploitable et sûre mais ses performances sont dégradée.	3	100% Inspection visuelle avec des normes visuelles
4	La performance peut être sévèrement dégradée et la maintenance sera nécessaire dans les prochains mois.	4	Test périodique non destructif
5	Turbine inopérable, un arrêt immédiat est nécessaire et un impact financier majeur.	5	Des chances très petites que la conception ou les contrôles de machines aient détecté une cause potentielle et un mode de défaillance ultérieur
Occurrence			
	Critère: nombre possible d'échecs en quelques heures d'opération		Rang
1	1 dans 70,000		La défaillance survient tous les 8 ans
2	1 dans 35,000		La défaillance survient tous les 4 ans
3	1 dans 17,000		La défaillance survient tous les 2 ans
4	1 dans 8,500		La défaillance survient dans une année

Tableau 11: Résultats de l'AMDEC

Composants	fonction	mode de défaillance	cause(s) de défaillance	Occurrence	effet(s)	Gravité	Détection	Criticité
Garniture mécanique	Assurer l'étanchéité	Erosion	-Vapeur contenant des particules solides -Formation des gouttelettes dans la vapeur	3	-Baisse de performance	2	2	12
		Corrosion	- Exposition à des substances corrosives dans la vapeur	1	-fuite	1	3	3
		Frottement	-Désalignement du rotor	1	-Taux d'usure élevé	2	2	4
Diaphragme	Convertir l'énergie thermique en énergie cinétique en accélérant la vapeur	Erosion	-Pénétration des solides particules de la vapeur -Pénétration des gouttelettes	4	-Taux d'usure élevé -Formation de fractures -vibration	4	3	48
		Entartrage	-Vapeur très sèche -Nombre très élevés de substances dans la vapeur	3	-Diminution de la pression -Baisse d'efficacité -Baisse du débit massique	3	2	18
		Corrosion	- Exposition à des substances corrosives dans la vapeur	1	-usure	2	3	6
Ailettes	Convertir l'énergie cinétique en énergie mécanique	Erosion	-Pénétration des solides particules de la vapeur -Pénétration des gouttelettes	3	-Taux d'usure élevé -Formation de fractures -usure des ailettes	5	3	45
		Fissuration	-Fatigue -Vibration	1	- usure des ailettes	5	4	20
		Entartrage	-Vapeur très sèche -Nombre très élevés de substances dans la vapeur	2	- Baisse de performance - Baisse du débit massique	3	2	12
Palier	Supporter le rotor	Usure	- vieillissement	1	-vibration	2	1	2
		Fissuration	-Fatigue -Vibration	1	-dommage des paliers	2	4	8
Rotor	Transfert l'énergie mécanique à l'alternateur	Erosion	-Pénétration des solides particules de la vapeur -Pénétration des gouttelettes	3	- Rotor déséquilibré -vibration	2	3	18
		Corrosion	- Exposition à des substances corrosives dans la vapeur	2	-Usure	2	3	12
		Désalignement du rotor	- Le support de turbine est dévié	2	-Vibration	5	3	30
		Fatigue	- vieillissement	1	-usure des ailettes	2	4	8
Boîtier	Protéger le rotor et former le chemin de vapeur	Erosion	-Pénétration des solides particules de la vapeur -Pénétration des gouttelettes	4	- Taux d'usure élevé des éléments de fixation des diaphragmes et des circuits de vidange	2	3	24
		Entartrage	-Vapeur très sèche -Nombre très élevés de substances dans la vapeur	3		2	3	18
		Corrosion	- Exposition à des substances corrosives dans la vapeur	2	-usure du boîtier	1	3	6

Tableau 12: Calcule des fréquences cumulées

fréquences cumulées	mode défaillance	criticité	cumulé	%cumulé
5,55	érosion du diaphragme	48	48	16,33
11,1	érosion des ailettes	45	93	31,63
16,65	désalignement du rotor	30	123	41,84
22,2	érosion boitier	24	147	50,00
27,75	fissuration des ailettes	20	167	56,80
33,3	entartrage boitier	18	185	62,93
38,85	érosion rotor	18	203	69,05
44,4	entartrage diaphragme	18	221	75,17
49,95	corrosion rotor	12	233	79,25
55,5	entartrage ailettes	12	245	83,33
61,05	érosion garniture	12	257	87,41
66,6	fatigue rotor	8	265	90,14
72,15	fissuration palier	8	273	92,86
77,7	corrosion diaphragme	6	279	94,90
83,25	corrosion boitier	6	285	96,94
88,8	frottement garniture	4	289	98,30
94,35	corrosion garniture	3	292	99,32
99,9	usure palier	2	294	100,00

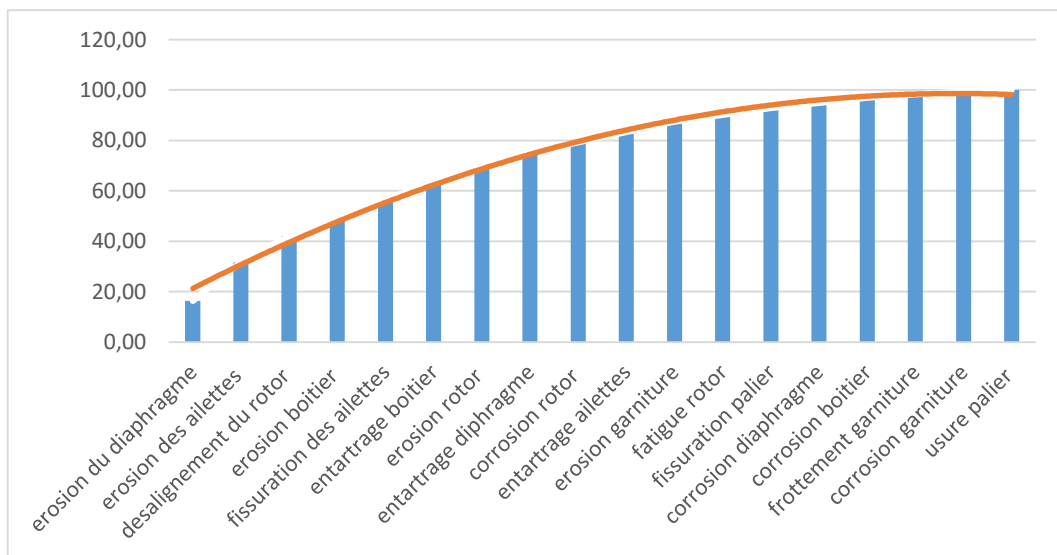


Figure 15: Pourcentage de défaillance pour chaque élément de la turbine

7.3.1. Calcul du ratio de discrimination

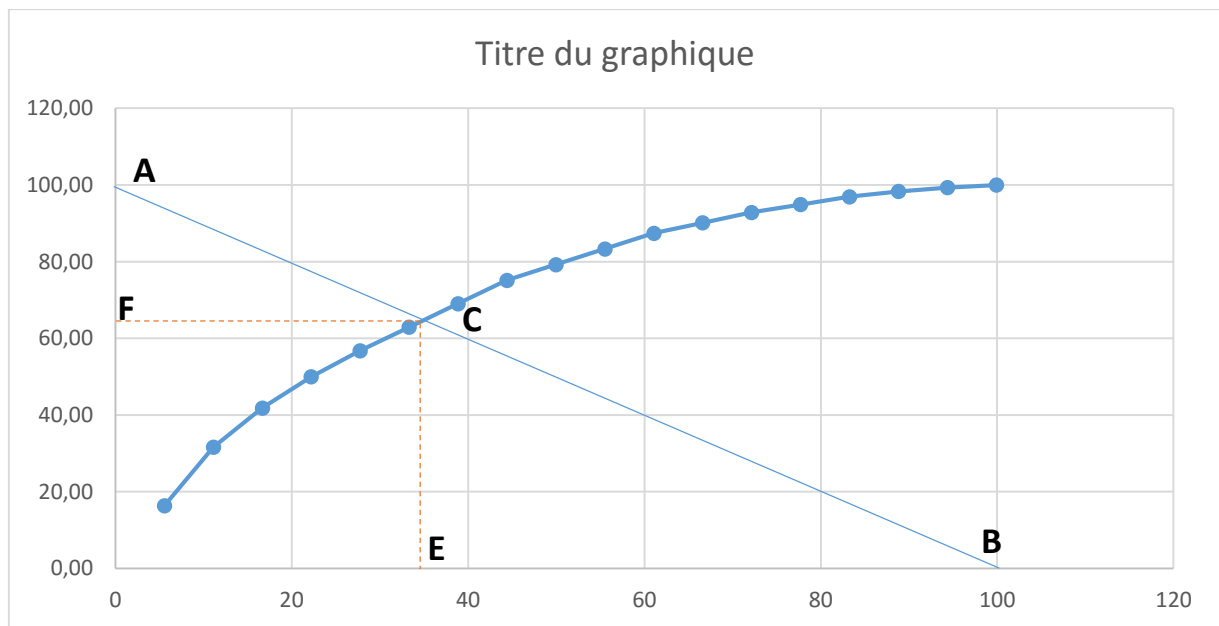


Figure 16: Courbe des fréquences cumulées

$$EC = 64 ; FC = 35$$

$$EB = 65 ; FA = 36$$

Donc

$$CB = \sqrt{EC^2 + EB^2} = 91.23$$

$$AB = \sqrt{OA^2 + OB^2} = 141.42$$

Le ratio de discrimination (Rd) ou coefficient de Gini peut être calculé graphiquement ou mathématiquement.

Graphiquement, on calculera $Rd = CB/BA$ à partir des points du graphique ci-dessus.

$$Rd = \frac{91.23}{141.42} = 0.65$$

Tableau 13: Valeurs des zones selon le ratio de discriminant

Valeur de Rd	Zone	A	B	C
$1 > Rd > 0,9$	1	10%	10%	80%
$0,9 > Rd > 0,85$	2	10%	20%	70%
$0,85 > Rd > 0,78$	3	20%	25%	55%
$0,75 > Rd > 0,65$	4	20%	30%	50%

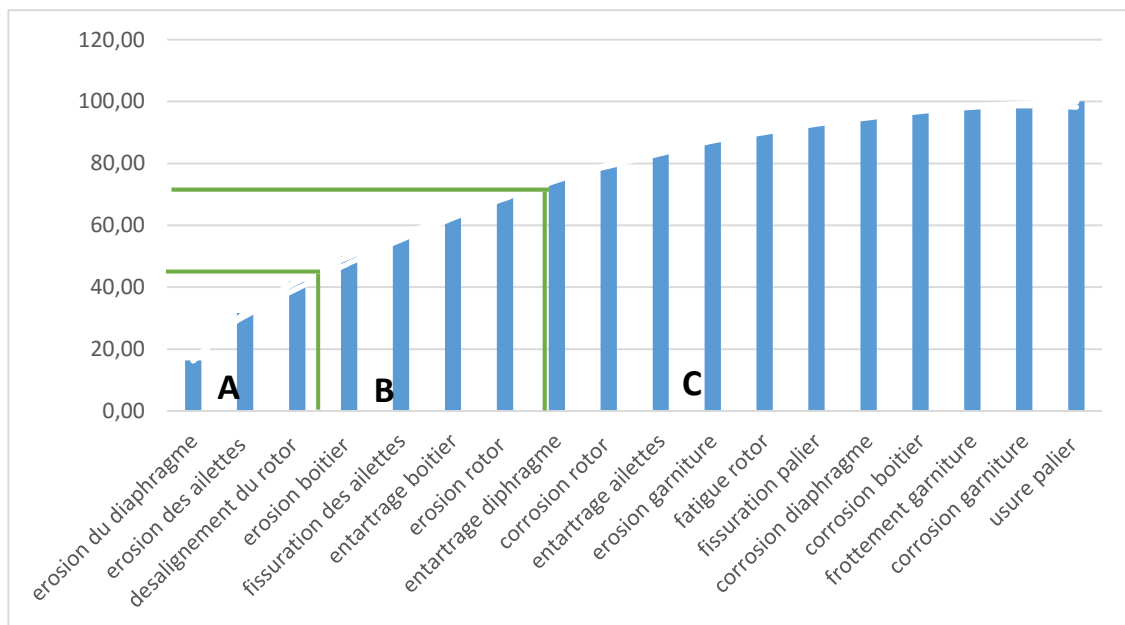


Figure 17: :L'identification des zones ABC

Zone "A": Dans cette zone, on constate que environ 20% des causes représente 46% des défaillances, ceci constitue la zone A, (érosion du diaphragme, érosion ailettes et désalignement du rotor).

Zone "B": Dans cette tranche, les 30 % des causes représentent 74 % supplémentaire (érosion du boîtier et son entartrage, fissuration des ailettes).

Zone "C": Dans cette zone les 50 % des causes restantes ne représentent qu'ont 26 % des défaillances (fatigue du rotor, usure palier ...)

7.4. Analyse des données de l'entreprise

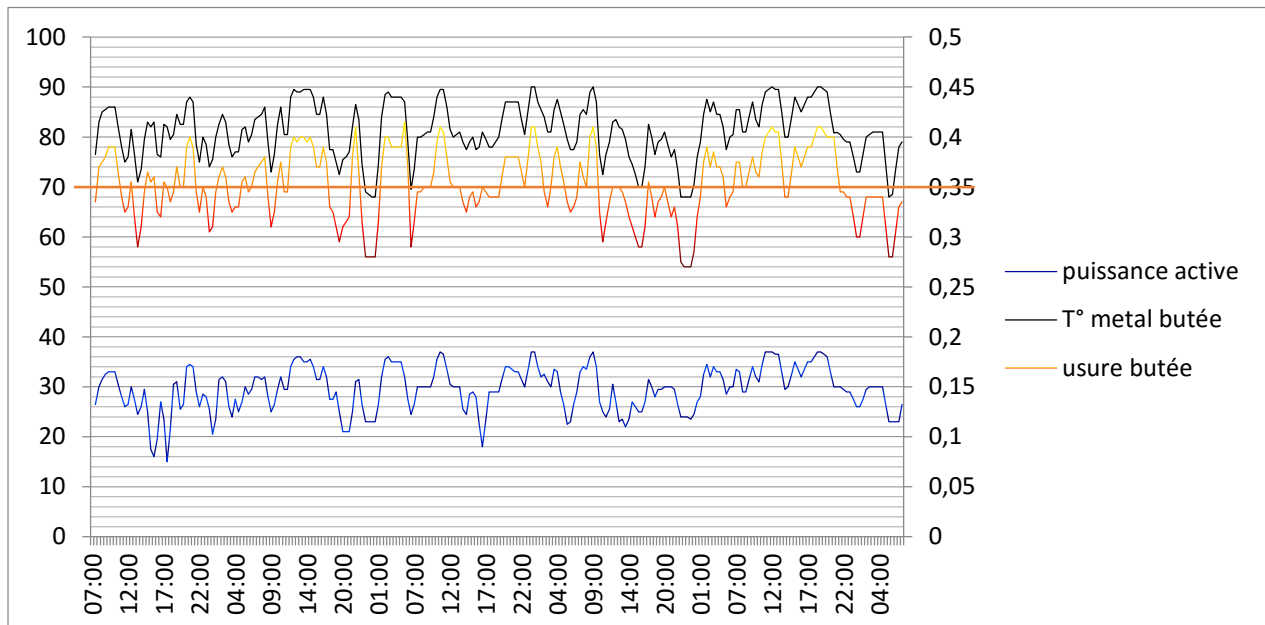


Figure 18: Graphe évolution de l'usure de la butée et température de métal butée par rapport à la puissance active

Remarque :

On constate que la température du métal butée change parallèlement avec celle de son usure, alors que lorsque la puissance dépasse une certaine limite de 30MW le déplacement de l'arbre qui celui de la butée dépasse les limites données par la société (-0,8 → +0,35) de même sa température dépasse les 80°C.

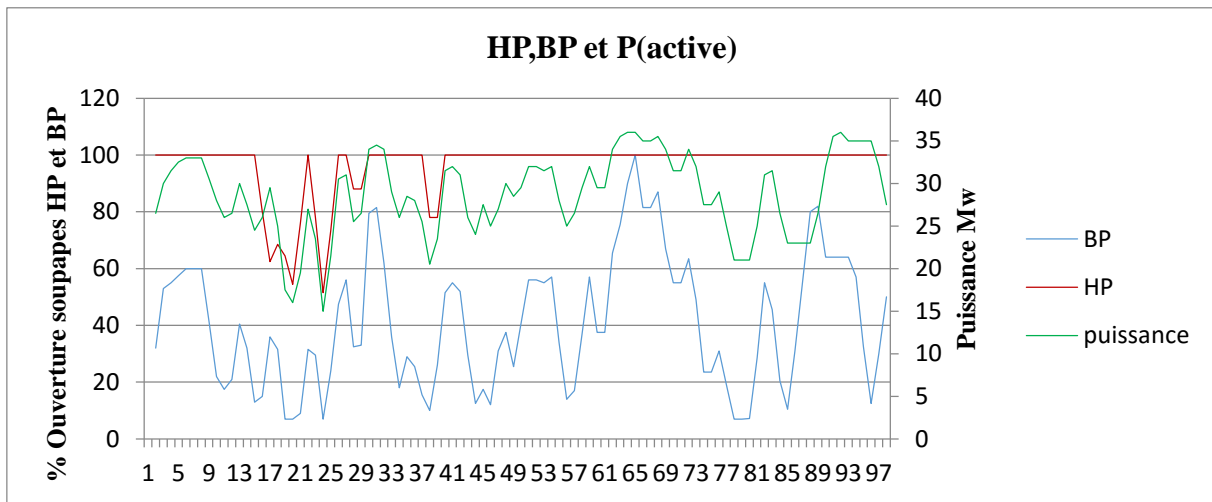


Figure 19: Graphe de la puissance active par rapport à les ouvertures des soupapes HP et BP

Dans le graphique si dessus, puisque la quantité de la vapeur HP entrante dans turbine reste presque constante, on trouve que la puissance générée par cette dernière et relative à la pression BP lorsque cette pression augmente la puissance elle aussi augmente instantanément

En ingénierie, la connaissance du comportement thermique des solides est de première importance pour la construction des machines ou dispositifs qui doivent fonctionner dans une large gamme de température. Dans une turbine, il faut tenir compte de la dilatation différentielle entre les ailettes du rotor et les parties fixes (stator) afin d'éviter des contacts potentiellement destructeurs.

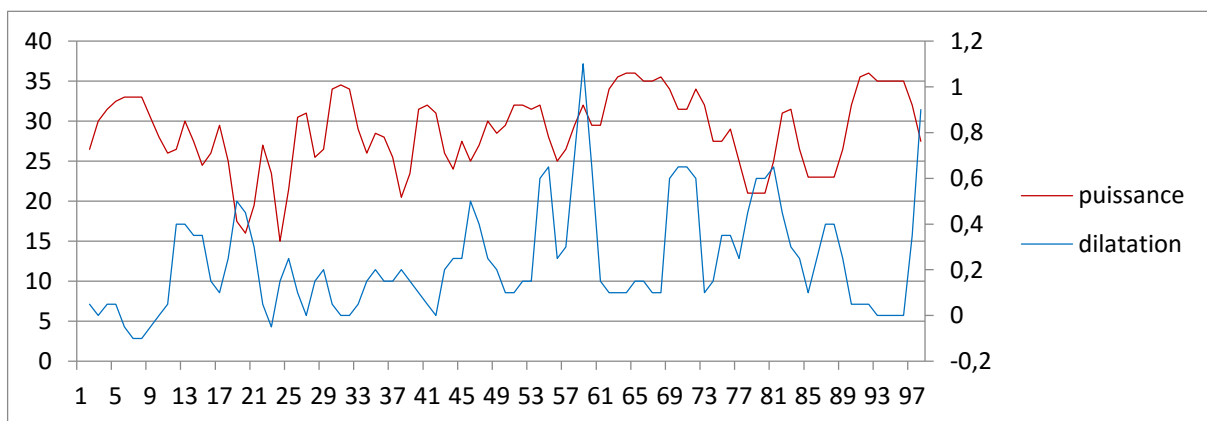


Figure 20: Graphe de la puissance par rapport à la Dilatation différentielle

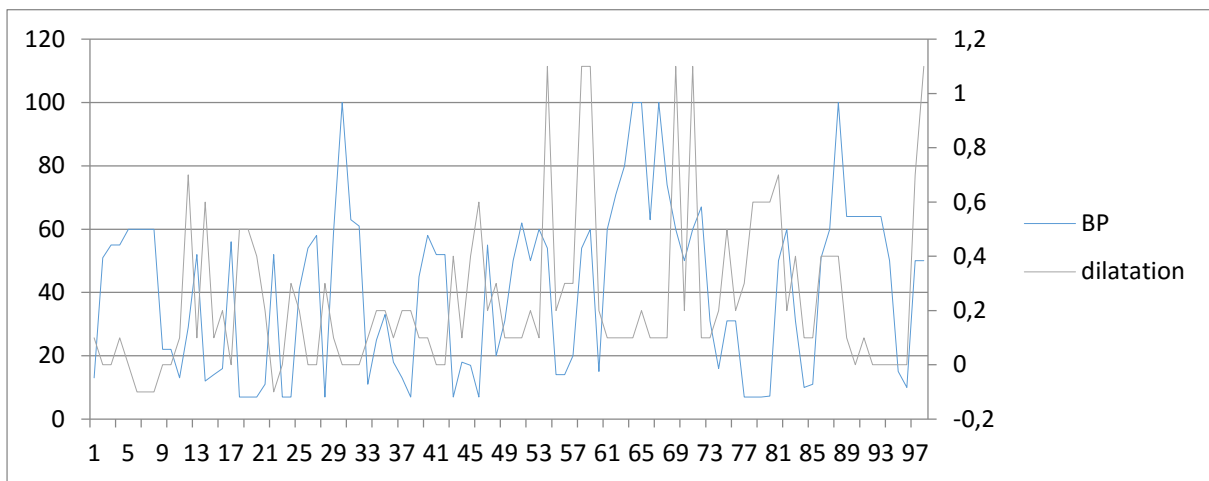


Figure 21: Graphe évolution de la dilatation différentielle de l'arbre par rapport à des ouvertures des soupapes BP.

Ces deux courbes nous montrent qu'après un certain moment de l'entrée exécutive de la vapeur BP l'arbre commence à se dilater, ce qui nous mène à bien étudier le rotor (dilatation, déplacement, déformation, contraintes)

7.5. Remarque général :

Dans ce qui a précédé et d'après nos analyses on a constaté que la turbine a une fiabilité faible et cela est à cause de son âge en outre le problème est principalement due à la dilatation différentielle du rotor, le désalignement qui va être traité en détail dans le chapitre suivant.

8. Description du problème posé :

8.1. Problématique :

La politique de maintenance axée sur la résolution des problèmes s'adresse aux éléments provoquant une perte de production et ayant des coûts d'arrêts imprévisibles classés importants par l'entreprise Chez OCP, cela s'applique à l'unité de production d'électricités.

La turbine est dotée d'une grande capacité de production, toutefois, elle n'est pas exonérée de pannes et défaillances qui entravent autant bien à la production. Cette problématique requière donc une recherche approfondie des causes racines afin d'éviter des pertes conséquentes que l'entreprise commence à chiffrer dès lors que la panne se déclenche.

D'ailleurs, les incidents ont eu lieu sur les patins et les butées et l'arbre de la turbine dus au déplacement excessif de ces derniers, engendrant des endommagements des butés à cause des sur poussées.



Figure 22: Images correspondant à la défaillance des patins.

8.2. Analyse des causes racines :

Avant d'établir l'analyse des causes racines du problème de « **L'usure butée** », nous avons jugé judicieux de donner un aperçu sur le l'usure butée. Pour se faire, nous allons donner des généralités sur les composants du patin qui est le régule constitué d'un alliage d'étain ou de plomb et d'antimoine, étudier leur tribologie ainsi que les types de dégradation qu'on retrouve au niveau du régule. Aussi, quelques propriétés et caractéristiques des alliés du Nickel Ni Cr Mo V qui constitue la butée et le rotor.

8.2.1. Les alliages du Nickel :

a. Généralités

En général, l'acier Ni Cr-Mo-V est utilisé comme matériau d'un rotor à haute pression exposé à une vapeur à haute température (température de la vapeur: environ 538° C) L'acier Ni-Cr-Mo-V est supérieur à la haute température, mais inférieur à la ténacité à basse température.

Tableau 14: Le rôle des additifs de l'acier fortement 3.5Ni Cr Mo V

L'élément d'addition	Son rôle
Nickel (Ni)	Assurer la résistance à la corrosion, la résistance à l'usure et l'uniformité des dépôts.
Chrome (Cr)	Des additions de chrome améliorent les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion
Vanadium (V)	Inhiber la croissance du grain lors des traitements thermiques tout en améliorant la résistance et la dureté du matériau

b. Caractéristiques de l'alliage

- Composition chimique

Tableau 15: Composition chimique de 3.5Ni Cr Mo V

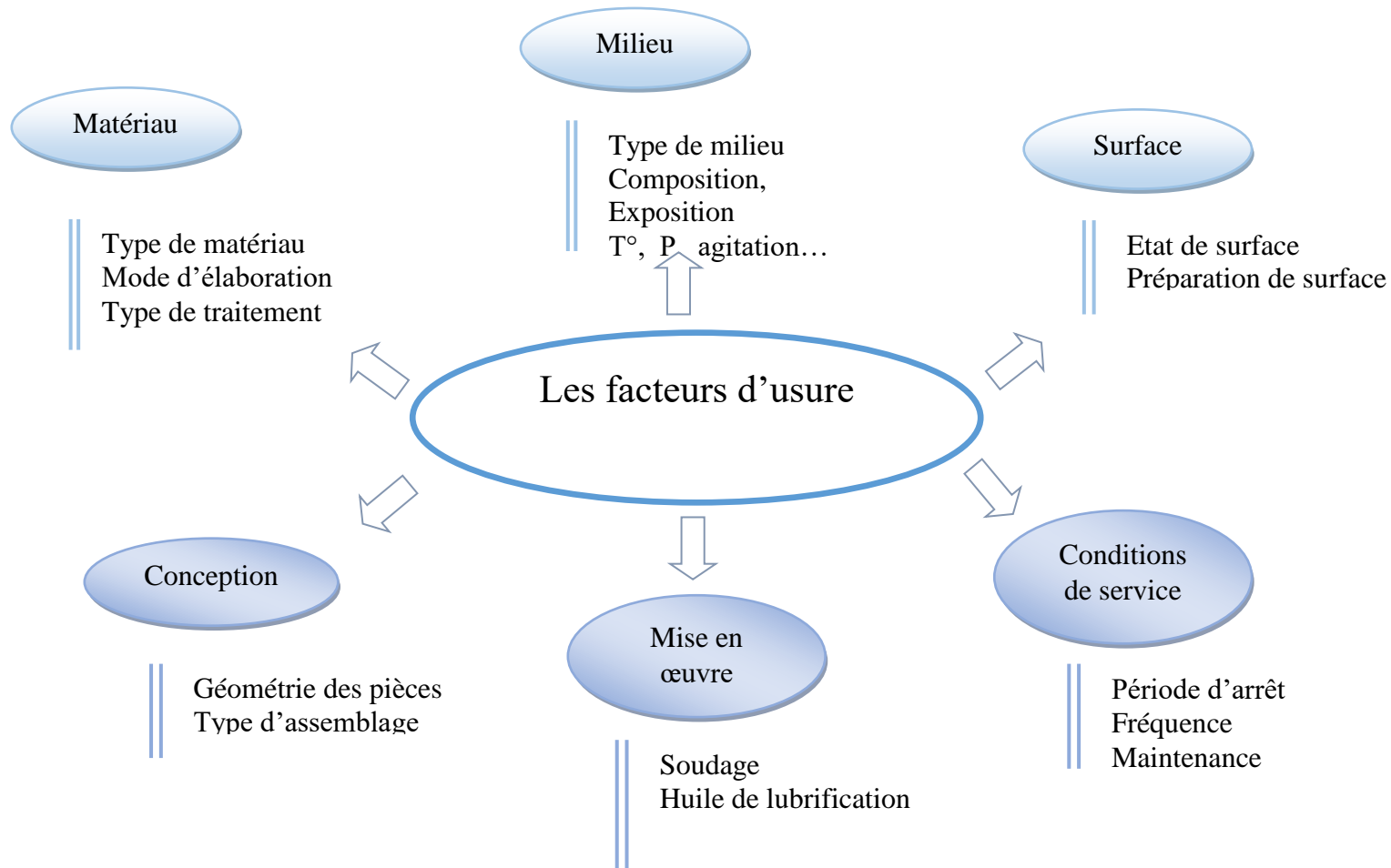
Eléments	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Nb
Minimum	0.15	_____	_____	0.5	0.5	0.5	0.15	0.01
Maximum	0.3	0.1	0.1	1.5	1.5	_____	0.30	0.1

- Les propriétés du 3.5 Ni Cr Mo V :

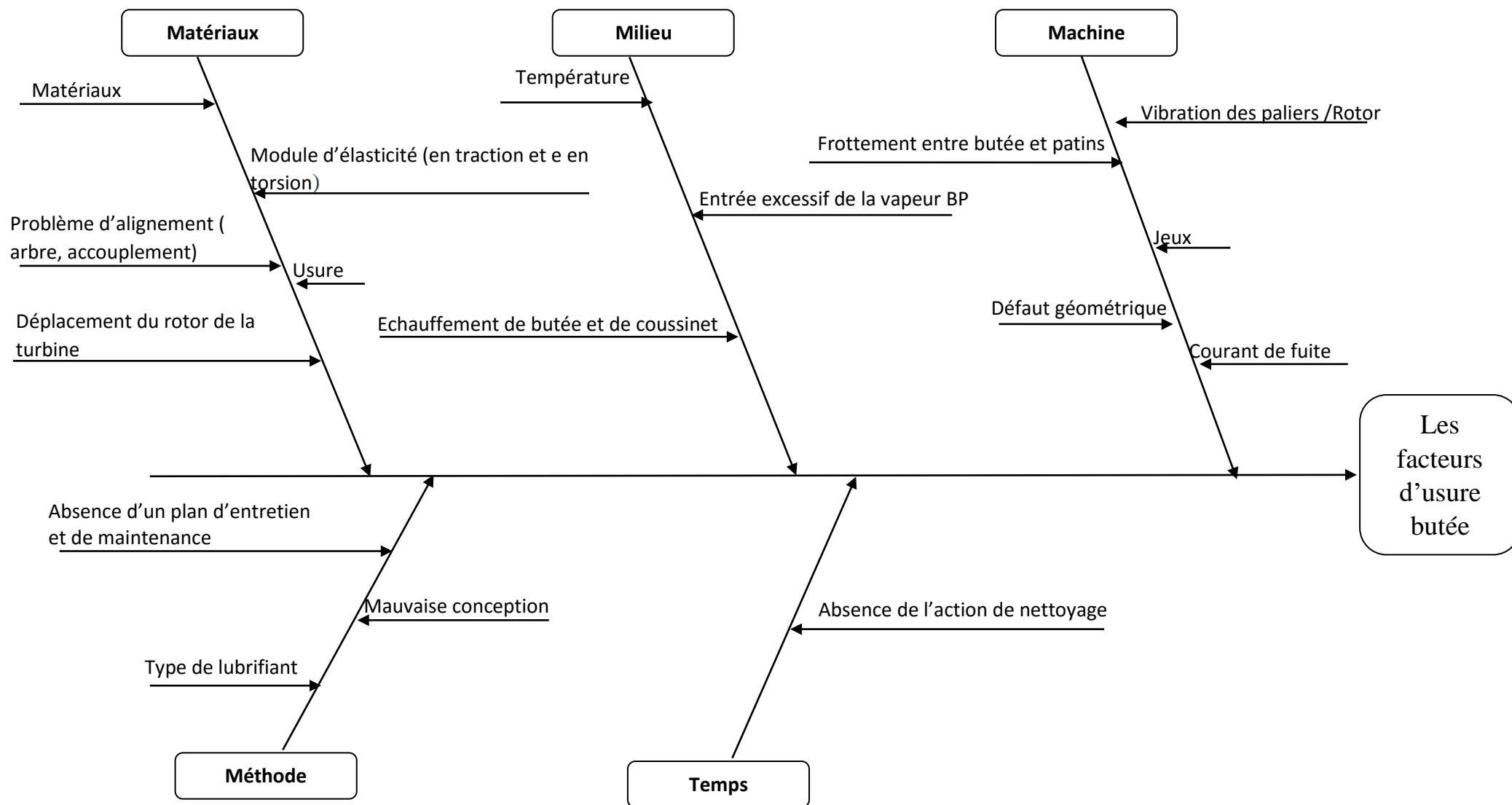
Tableau 16: Propriétés de 3.5Ni Cr Mo V

Les propriétés physiques	
Densité	7.75e3 Kg/m ³
Les propriétés mécaniques	
Dureté	222 VPN
Résistance à la traction	733MAP
Allongement à la rupture	0.5% strain
Module d'élasticité (en traction)	400 MPa
Module d'élasticité (en compression)	300 MPa
Les propriétés électriques	
La résistance électrique	84 μohm.cm
Les propriétés thermiques	
La conductivité thermique	8 W/m.°C

8.2.2. Les grands facteurs de l'usure :



8.2.3. Diagramme d'Ishikawa



8.2.4. Les facteurs de l'usure butée (Etablissement de la liste des hypothèses) :

Le problème majeur de notre étude est l' « **usure butée** ». Ce problème peut avoir comme origine :

- Entrée excessif de la vapeur BP
- Déplacement du rotor de la turbine
- Défaut d'accouplement rigide
- Déplacement de l'arbre de la turbine.
- Poussé trop importante provoqué par l'encrassement de la turbine, par des jeux trop important aux étanchéités d'arbre.
- Défauts géométriques
- Courant de fuite

9. Conclusion :

Dans ce chapitre on a tenté d'exploiter l'historique de panne de la turbine type 3350 ECD 831 implanté à l'unité de production, en classant les pannes selon leurs causes.

Ensuite on a calculé les paramètres de Weibull pour la validation des lois de fiabilité et qui nous a donné 38,3%.

Le diagramme de Pareto est utilisé notamment pour hiérarchiser, mettre en valeur les causes et cibler les actions à mettre en œuvre en priorité, ceci nous donne que notre turbine souffre beaucoup plus de l'érosion des ailettes le désalignement du rotor et l'érosion du diaphragme. Ce qui nous a conduits à détecter les facteurs principaux de notre problème qui est l'usure butée et qui dépend de nombreux paramètres, parmi lesquels :

- Les paramètres dynamiques du système et des vibrations de l'arbre en rotation et des paliers.
- Les paramètres géométriques (dimensions et formes de rotor et de butée, défauts d'accouplement), cinématiques et dynamiques (vitesse de rotation et charge appliquée).
- La nature des matériaux formant les butées et les caractéristiques du lubrifiant (essentiellement sa viscosité et dans certains cas sa masse volumique).

Chapitre III : Etude des patins par le logiciel ANSYS

1. Modélisation sous ANSYS :

1.1. Cahier de charge :

a. Contexte

- Évaluer la résistance d'un patin
- Déterminer la déformation.

b. Objectifs de l'étude

Évaluer la charge axiale maximale que peut supporter un patin dans le cas suivant :

- Sous forces
- Sous couple

c. Matériau

Tableau 17: Propriétés de la règle de base plomb à l'antimoine

Propriétés de Ligne d'arborescence 5 : Plomb					
	A	B	C	D	E
1	Propriété	Valeur	Unité		
2	Masse volumique	8850	kg m ⁻³		<input type="checkbox"/>
3	Coefficient isotrope sécant de dilatation thermique			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Coefficient de dilatation thermique	2,3E-05	C ⁻¹		<input type="checkbox"/>
5	Température de référence	70	C		<input type="checkbox"/>
6	Elasticité isotrope			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Dériver de	Module ...			
8	Module de Young	13000	MPa		<input type="checkbox"/>
9	Coefficient de Poisson	0,435			<input type="checkbox"/>
10	Module de compressibilité	3,3333E+10	Pa		<input type="checkbox"/>
11	Module de cisaillement	4,5296E+09	Pa		<input type="checkbox"/>
12	Limite d'élasticité en traction	9	MPa		<input type="checkbox"/>
13	Limite d'élasticité en compression	9	MPa		<input type="checkbox"/>
14	Limite à la rupture en traction	21	MPa		<input type="checkbox"/>
15	Limite à la rupture en compression	9	MPa		<input type="checkbox"/>

1.2. Modèle numérique des patins :

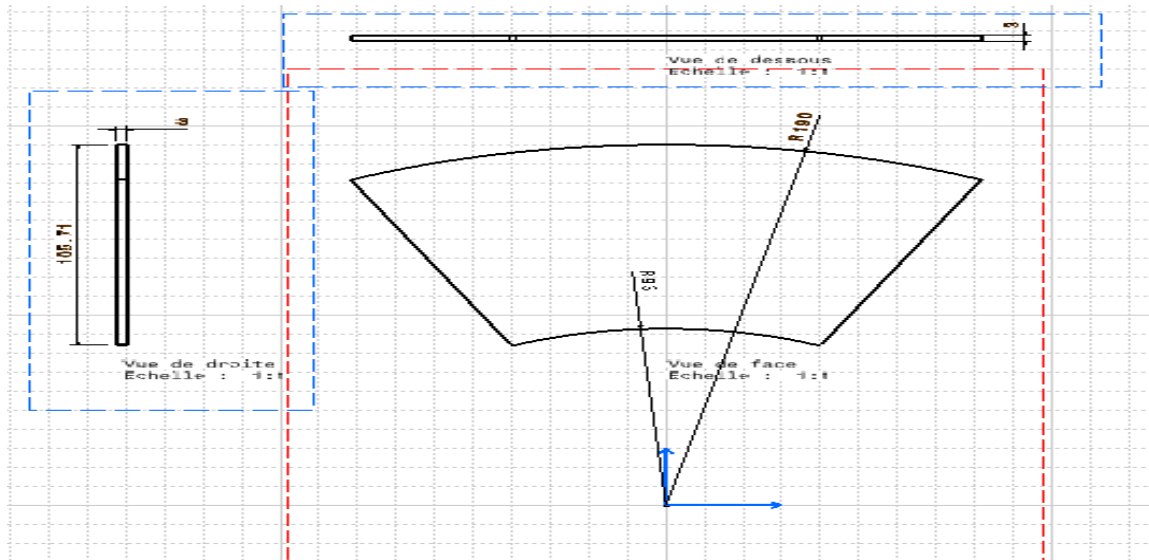


Figure 23: Dessin d'ensemble des patins

1.3. Maillage du modèle:

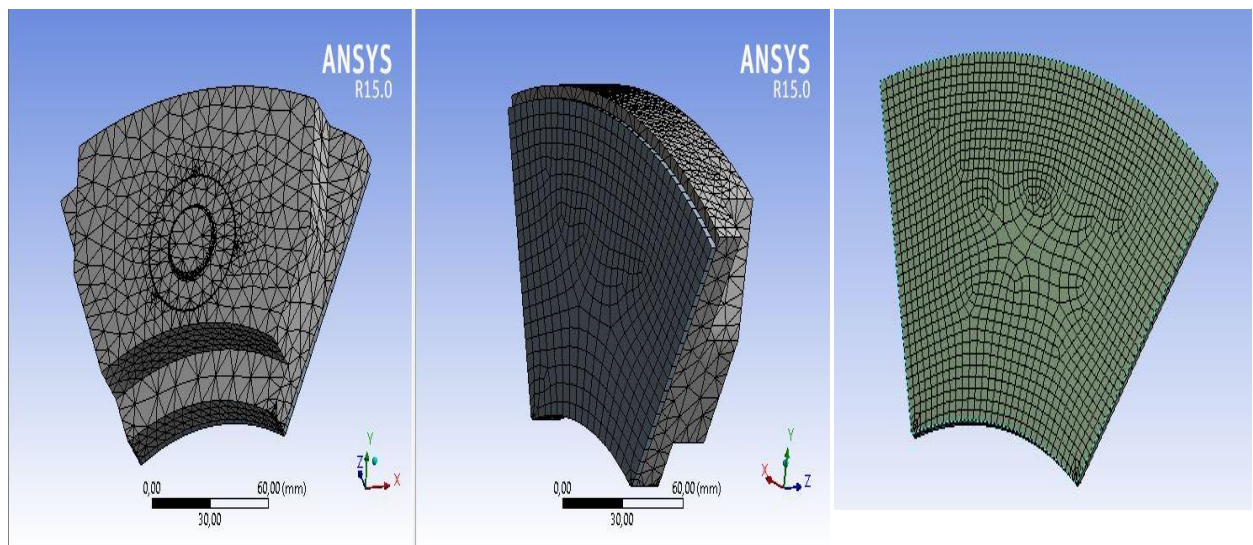


Figure 24: Maillage des patins

Cas de charge:

- Compression axiale (supposée parfaite)
- Condition limite : encastrement

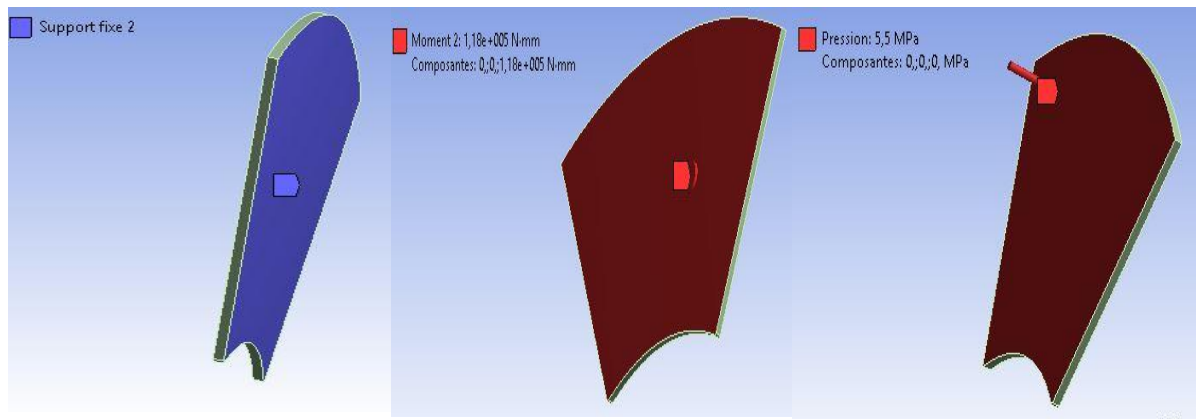


Figure 25: Pression et moment exercées sur la face des patins

1.4. Résultats :

Plomb : Limite élastique = 9 MPa

On a le couple soumis sur le patin :

$$P = T * \omega \Rightarrow T = P/\omega = 37000/2\pi*500 = 118 \text{ N.m}$$

Avec :

P : la puissance active en watt

T : le couple en N.m

ω : vitesse de rotation en rad.s^{-1}

Tableau 18: Evolution des résultats en fonction des pressions

Pression				
MPa	Déformation	Contrainte	Déplacement total	FS
0.1	0.005	69.9	0.0098	0.13
0.5	0.005	70.531	0.0099	0.13
1.5	0.005	72.106	0.010	0.12
3	0.005	74.492	0.0115	0.12
5.5	0.006	78.524	0.0119	0.11
7	0.006	81	0.012	0.11

Plomb : pression : 5.5 bars

a. Déformation

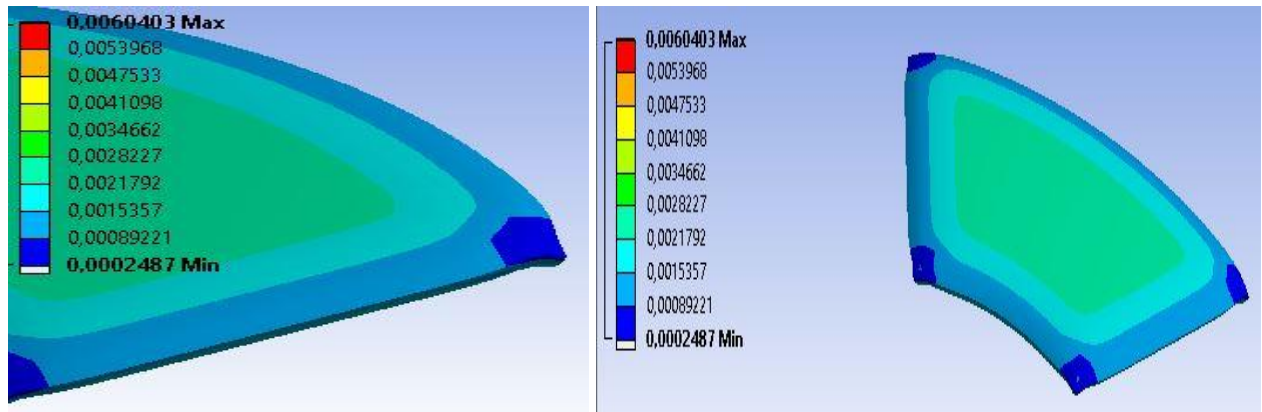


Figure 26: Evolution de déformation de la face des patins

b. Contrainte :

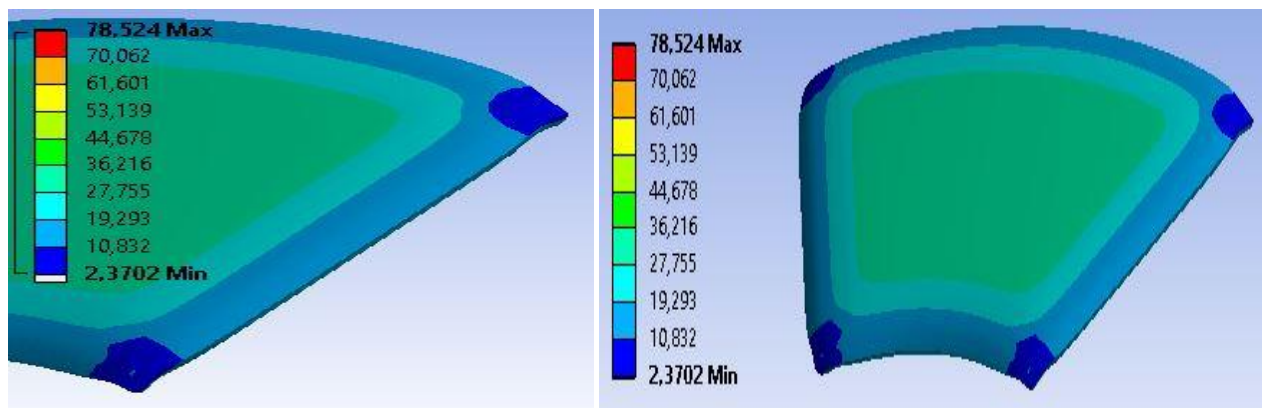


Figure 27: Evolution des contraintes de la face des patins

c. Déplacement total

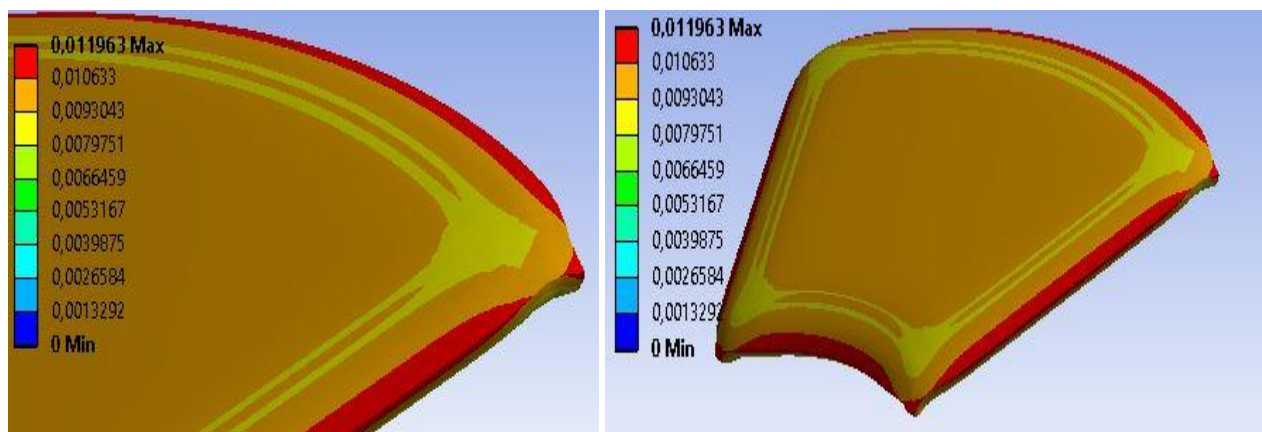


Figure 28: Déplacement Total des patins

1.5. Conclusion :

Le régule présente un facteur de sécurité insuffisant (inférieure à 1) pour les différentes valeurs de pression.

Donc toute amélioration au niveau du matériau doit être faite en le comparant avec ce dernier.

2. Etude améliorative

2.1. Modélisation via CES :

Nous allons maintenant essayer de modéliser quelques-unes de nos exigences en utilisant le logiciel CES, qui reprend le principe de la méthode Ashby.

a. Dilatation thermique :

Il nous faut un matériau supportant les flux de chaleurs afin notamment d'empêcher une déformation grave qui pourrait provoquer des endommagements au niveau de la butée par la dilatation du matériau.

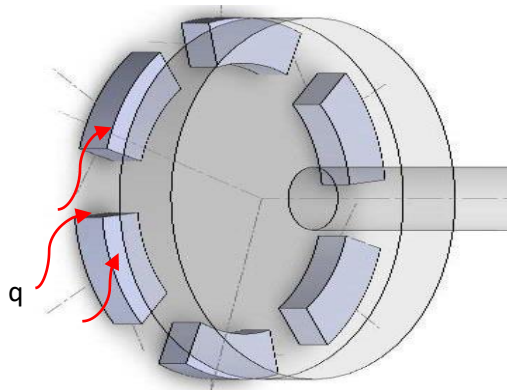


Figure 29: Flux de chaleur exerce sur les patins

La quantité de chaleur q en régime permanent est donnée par la loi de fourrier :

$$q = - \lambda (dT/dx)$$

λ : Conductivité thermique du matériau

dT/dx : Le gradient de température résultant

La déformation ε d'un matériau en fonction de la température ait donne par son coefficient de dilatation linéaire α

$$\varepsilon = \alpha (T_0 - T)$$

La déformation est proportionnelle au gradient de déformation :

$$d \varepsilon / d \alpha = \alpha (dT/dx) = (\alpha / \lambda) \cdot q$$

Ainsi pour une configuration géométrique et un même flux de chaleur, la distorsion sera minimum si α / λ est petit (ou λ / α grand).

Nous avons donc tracé la conductivité thermique en fonction du coefficient de dilatation thermique sur une échelle logarithmique.

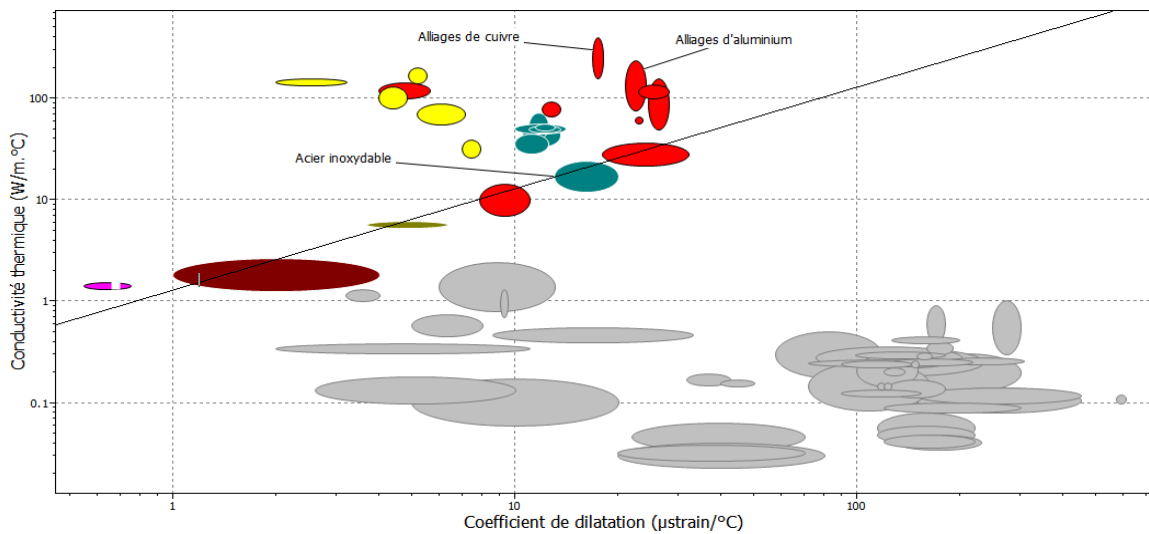


Figure 30: Diagramme de la conductivité thermique en fonction du coefficient de dilatation thermique

Les matériaux les plus sensibles à la déformation thermique se situent en bas à droite. Parmi les moins sensibles, on retrouve en grande partie les alliages d'aluminium, les alliages de cuivre et l'acier inoxydable

Paramètres divers :

Certains paramètres peuvent être exploités directement sans l'utilisation de calcul, mais nécessitent des lors d'avoir au moins un ordre de grandeur. Nous allons en traiter quelques-uns.

Le principe est sensiblement le même : il suffit de choisir le paramètre et ensuite de sélectionner la zone de notre ordre de grandeur. On peut par la suite réaliser des intersections afin d'éliminer les matériaux.

b. Température d'utilisation des matériaux :

Les températures mini et maxi de service des matériaux sont indiquées dans la base de données du logiciel.

Les matériaux que nous acceptons sont ceux dont la plage d'utilisation de service est inférieure à 80°C.

Pour une température de service supérieure à 80°C :

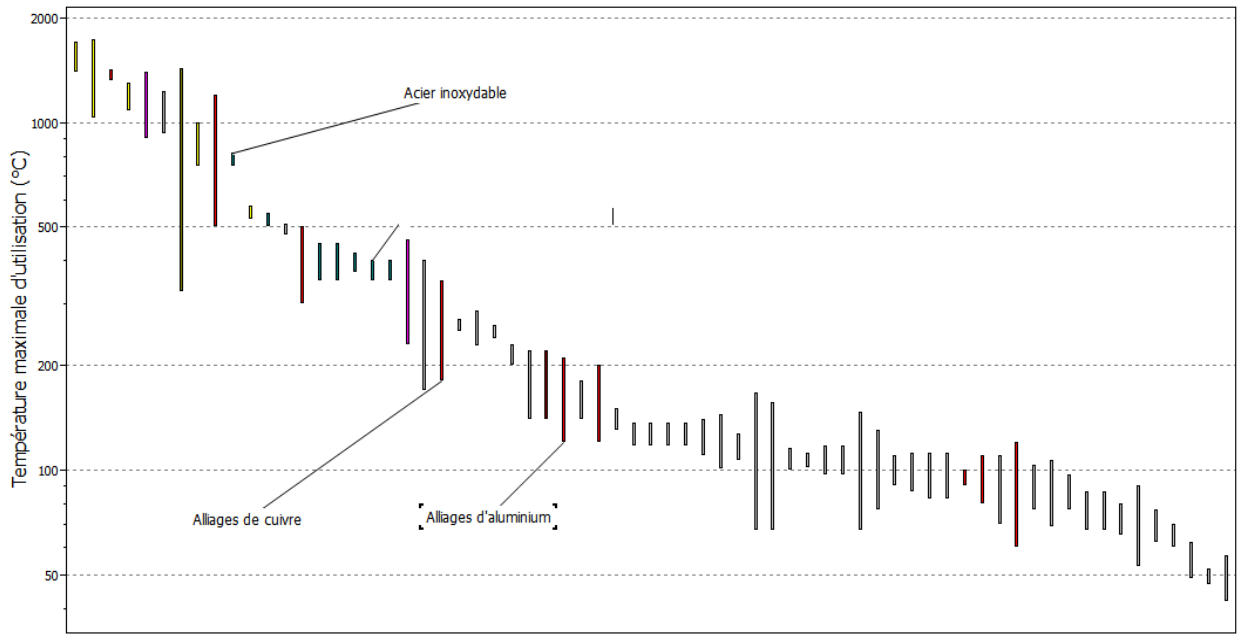


Figure 31: Température maximale des utilisations des matériaux

On remarque qu'il existe de nombreux matériaux qui résistent au-delà de 80°C. D'une manière générale, on retrouve encore certains alliages de cuivre et d'aluminium qui sont souvent à la limite.

c. Prix minimum :

$$IM = \rho / \text{prix}$$

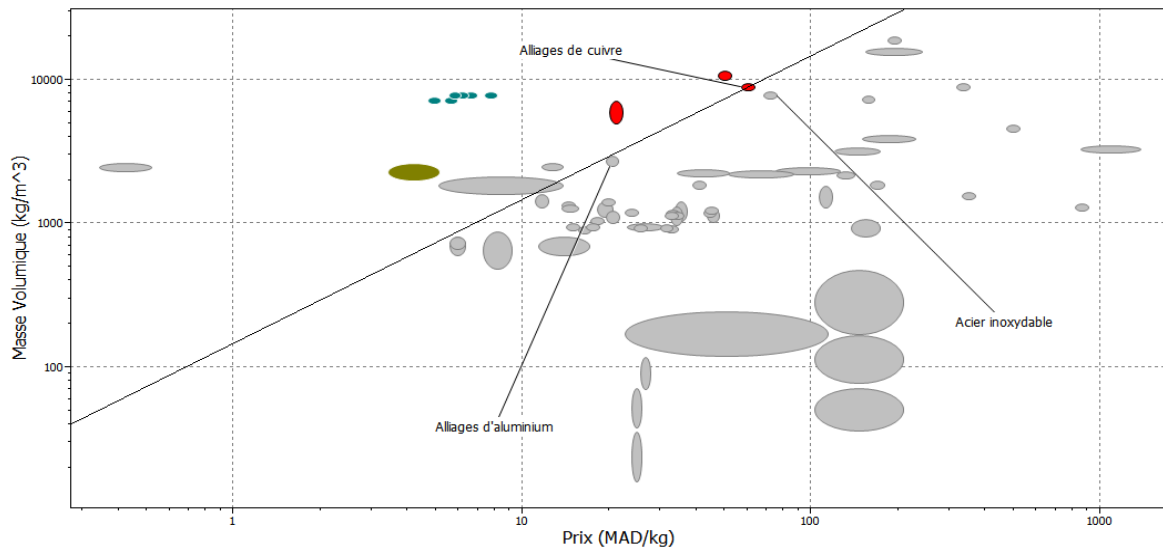


Figure 32: Diagramme de la masse volumique en fonction de prix

2.2. Conclusion :










Concernant l'évolution des matériaux nous avons pu voir que le cuivre est bien le matériau de base pour ce nouveau patin.

3. Analyse du patin sous ANSYS :

3.1. Propriétés du matériau :

Les propriétés ci-dessous du cuivre seront utilisées dans l'analyse numérique

Tableau 19: Propriétés du cuivre

	A	B	C
1	Propriété	Valeur	Unité
2	 Masse volumique	8300	kg m ⁻³
3	 Coefficient isotrope sécant de dilatation thermique		
4	 Coefficient de dilatation thermique	1,8E-05	C ⁻¹
5	 Température de référence	22	C
6	 Elasticité isotrope		
7	Dériver de	Module de...	
8	Module de Young	1,1E+11	Pa
9	Coefficient de Poisson	0,34	
10	Module de compressibilité	1,1458E+11	Pa
11	Module de cisaillement	4,1045E+10	Pa
12	 Limite d'élasticité en traction	2,8E+08	Pa
13	 Limite d'élasticité en compression	2,8E+08	Pa
14	 Limite à la rupture en traction	4,3E+08	Pa
15	 Limite à la rupture en compression	0	Pa

3.2. Résultats :

Cuivre: Limite Élastique: 280 MPa

Tableau 20: Evolution des résultats en fonction de pression

Pression				
MPa	Déformation	Contrainte	Déplacement total	FS
0.1	0.0037	408.69	0.0077	1.66
0.5	0.0037	409.19	0.0077	1.58
1.5	0.0037	410.35	0.0077	1.43
3	0.0037	412.13	0.0078	1.375
5.5	0.0038	415.12	0.0078	1.269
7	0.0038	417.23	0.0078	1.224

Déformation :

Contrainte :

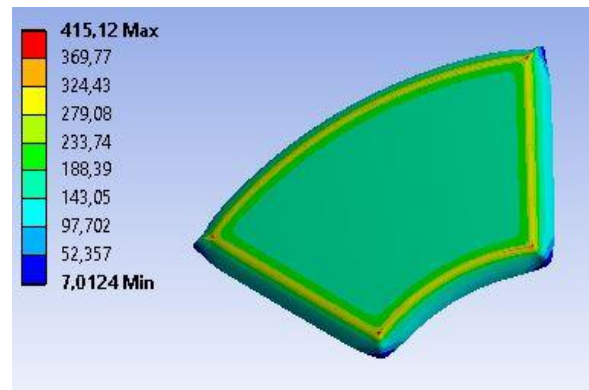
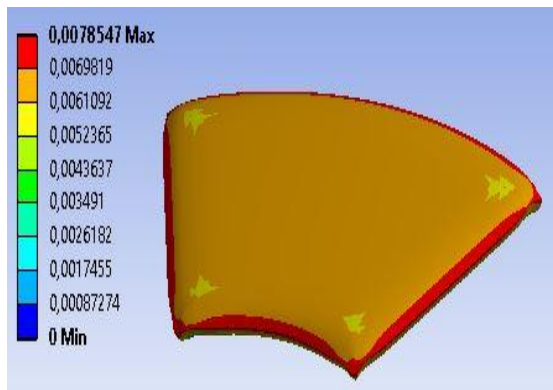


Figure 33: Evolution de déformation et de Contrainte de la face des patins cuivré

Déplacement total:

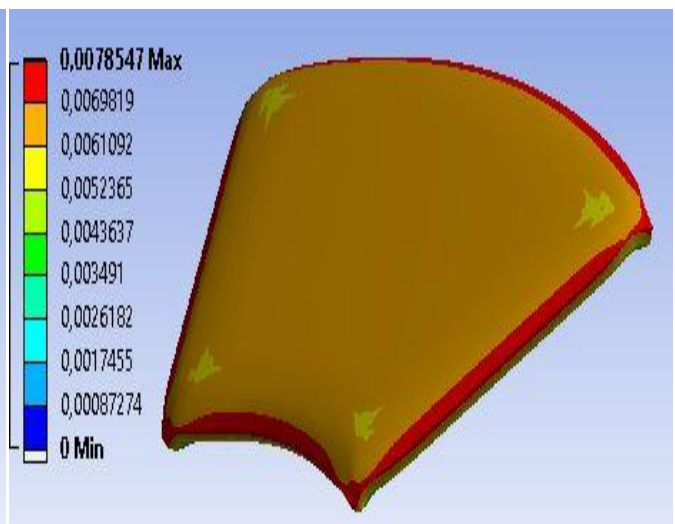
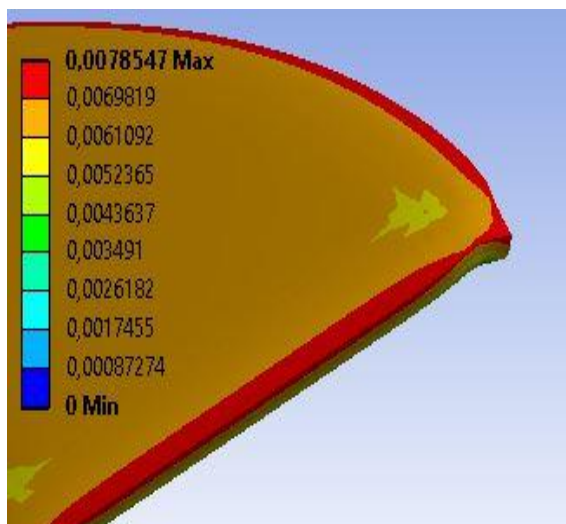
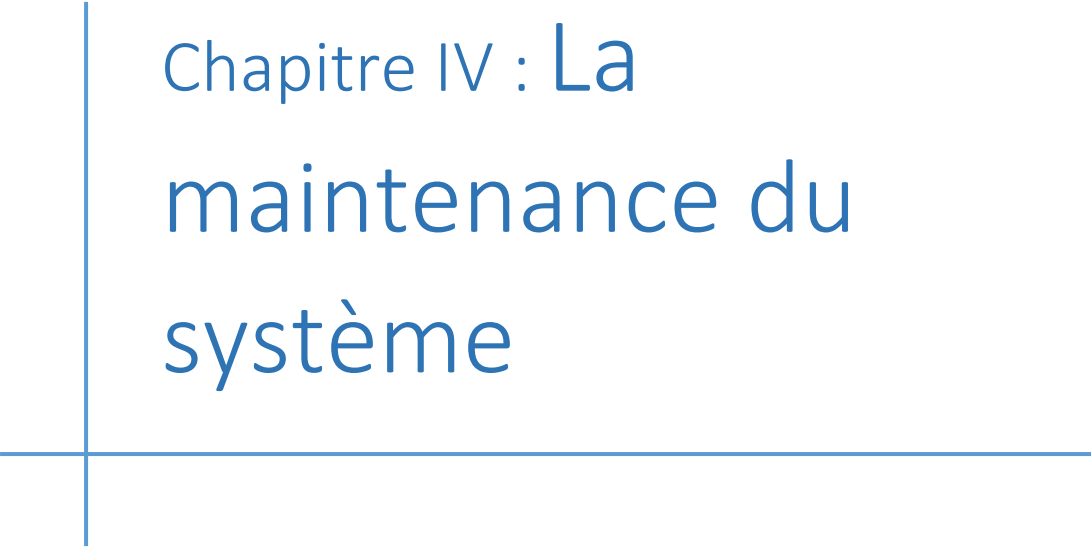


Figure 34: Déplacement Total des patins

4. Conclusion :

Malgré un produit qui peut paraître simple, nous nous sommes rendu compte à travers cette étude que beaucoup de paramètres rentraient en jeu. Nous avons essayé à travers notre cahier des charges de couvrir un maximum de ces paramètres dont certains sont parfois difficiles à quantifier et reposent avant tout sur des tests plutôt que des calculs.

Les matériaux utilisés pour les patins sont surtout guidés par l'utilisation de normes industrielles qui limitent ainsi la base de matériaux disponible. Aussi, avant d'arriver sur le marché un nouveau matériau devra alors passer par plusieurs tests pour assurer sa conformité.



Chapitre IV : La
maintenance du
système

1. Introduction :

La fonction maintenance a pour but d'assurer la disponibilité optimale des installations de production et de leurs annexes, impliquant un minimum économique de temps d'arrêt.

1.1. Importance de la maintenance pendant longtemps:

La maintenance est considérée par les gestionnaires plus comme une fatalité qu'un ensemble d'activités ayant pour d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli dans un état spécifié ou en mesure de :

- Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coûts, de sécurité et de qualité (le cas de la production).
- Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût (c'est le cas, par exemple, des services vendus en général mais surtout des transports, des hôpitaux).

Donc pour nous, entretenir, consiste à dépanner, réparer, réaliser des opérations préventives dont le but principal est d'assurer le fonctionnement de l'outil de production d'une manière globale entretenir c'est subir.

Outre cela le progrès technologique ainsi que l'évolution de la conception de la gestion des entreprises ont fait que la maintenance est devenue de nos jours une fonction importante de l'entreprise dont le rôle dans l'atteinte des objectifs de l'entreprise est loin d'être négligeable.

Donc la fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésent dans les entreprises et les services. Elle est devenue un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponibles, performants. Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous pouvons dire que la maintenance est tout autre chose.

C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une nouvelle discipline dotée de moyens permettant d'intervenir dans des meilleures conditions, d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global.

La maintenance vise à éviter les pannes et les temps morts que celle-ci entraînent. La maintenance ne doit pas être perçue comme une fonction secondaire et elle doit bénéficier de toute l'attention voulue.

Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance), par une évolution de mentalités. Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit « Maintenance ». Donc la maintenance désigne plusieurs catégories de travaux notamment :

- Surveillance et travaux simples (graissage...etc.) généralement dévolus aux utilisateurs du matériel ou des installations.
- Contrôle de fonctionnement et travaux plus complexes que les précédents, souvent effectués par spécialistes.
- Dépannage et réparation en cas d'incident confiés à des ouvriers ou équipes spécialisées.
- Entretien systématique comportant des révisions partielles ou totales, faites sur place ou dans un atelier spécialisé.
- Reconstruction complète de machines ou d'installations, constituant une véritable remise à neuf.

1.2. Objectifs de la maintenance :

Assurer le maintien (disponibilité) des équipements de production et diminuer les pannes car ces dernières occasionne :

- ✓ Coûts de maintenance (intervention).
- ✓ Coûts d'indisponibilité (non production).
- ✓ Problèmes de sécurité (biens et personnes).

La maintenance intègre également :

- Amélioration de la sécurité des biens et des personnes,
- Intégration de nouveaux biens,

2. Méthode HAZOP

2.1. Définition de la méthode HAZOP :

La méthode **HAZOP** (**HAZ**ard and **OP**erability studies) est une approche inductive d'analyse des risques qui a été élaborée il y a près de quarante ans par la société Imperial Chemical Industries pour répondre à un besoin d'amélioration de la sécurité et des processus.

L'**HAZOP** a pour objectif d'identifier les dangers potentiels d'un système et d'identifier les éventuels risques d'exploitation afin d'éviter l'apparition d'événements non souhaités.

2.2. Principe de la méthode HAZOP :

Le principe de l'**HAZOP** est d'associer des mots-clés et des paramètres relatifs à l'installation étudiée pour ainsi déceler des dérives.

2.3. Démarche:

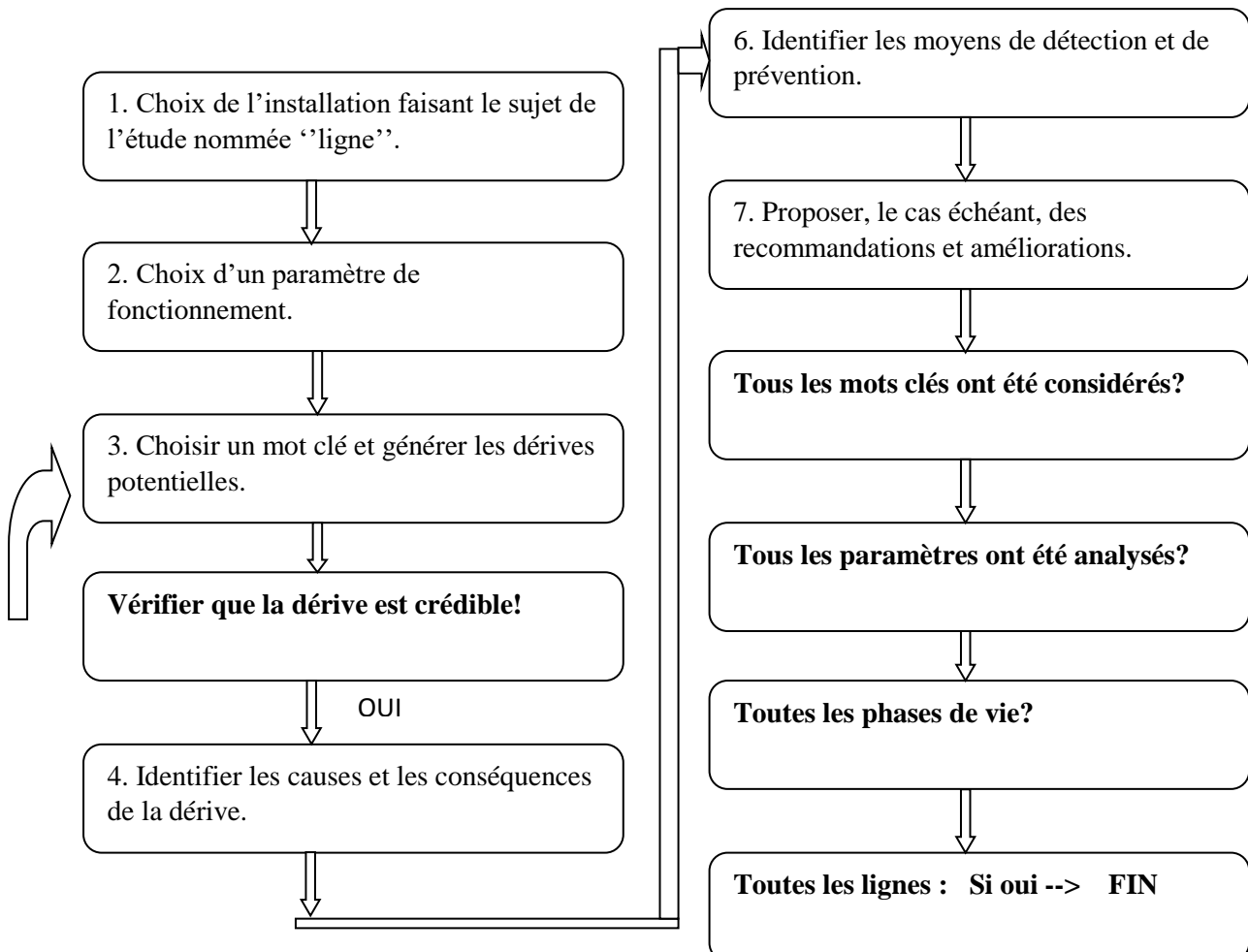


Figure 35: Algorithme de la methode

Paramètres

Causes/Conséquence

Mot clé ?

Dépend de l'installation étudié :

- Température
- Temps
- Pression
- Débit
- Concentration

Mot clé	signification
Ne pas faire	Négation totale de l'intention de conception
PLUS DE	Augmentation quantitative
MOINS DE	Diminution quantitative
EN PLUS DE	Modification/diminution de conception
INVERSE	Contraire logique de l'intention de conception
AUTRE QUE	Remplacement total

Le groupe de travail réfléchit aux causes et aux conséquences qui peuvent entraîner les dérives crédibles générées.

2.4. Plan de maintenance selon la méthode HAZOP:

Tableau 21: Plan de maintenance selon la méthode HAZOP

<u>Date : 04/05/2017</u>							
<u>N°</u>	<u>Mot-clé</u>	<u>Paramètre</u>	<u>Cause</u>	<u>Conséquence</u>	<u>Détection</u>	<u>Sécurité existante</u>	<u>Proposition D'amélioration</u>
<u>1</u>	<u>Plus de</u>	<u>Pression</u>	Dysfonctionnement des soupapes automatiques de sécurité	Explosion	Signal d'alarme	<u>Oui</u>	Vérification permanente des manomètres. Changement des soupapes.
<u>2</u>	<u>Moins de</u>		Fuite et perte de vapeur	Mal fonctionnement de la turbine			Mettre la quantité de pression demandée
<u>3</u>	<u>Plus De</u>	<u>Température</u>	Augmentation de Pression	Dilatation de l'arbre Dégradation des matériaux Vibration	Détecteur De déplacement	<u>Oui</u>	Système de refroidissement automatique
	<u>Moins de</u>		Mal combustion	Manque de			Bien traitée le combustible (gasoil, fioul)

				vapeur			
4	Plus de	Vibration	Grippage d'un coussinet Grippage d'une butée	Dysfonctionnement et arrêt de la turbine.			Vérifier les températures d'entrée et de sortie d'huile, la circulation, d'huile. Si les températures sont excessives, arrêter. Arrêter changer le rotor
			Rotor faussée				Arrêter, démonter, nettoyer
			Encrassement non uniforme de rotor		Détecteur de vibration	Oui	Vérifier le déplacement, les températures d'huile butée arrêté
			Grippage d'un accouplement				
			Eau dans l'huile				Analyser l'huile. arrêter vidange
5			L'huile trop chaude				Vérifier les températures .Ouvrir les échangeurs d'huile.

	<p><u>Plus de</u></p>	<p><u>Echauffement (coussinet et butée).</u></p>	<p>Manque d'huile</p> <p>coussinet trop serrant</p> <p>Mauvais lignage</p> <p>Arrachement de l'antifriction.</p> <p>Butée trop chargée</p>			<p><u>Oui</u></p>	<p>Vérifier la pression la circulation de l'huile et le diamètre de l'orifice calibré.</p> <p>Augmenter la pression d'alimentation, baisser la température d'entre.</p> <p>Arrêter et vérifier le lignage Augmenter la pression d'huile.</p> <p>Vérifier la pression de l'antifriction dans le filtre en service .Arrêter .changer le coussinet ou bien butée ou les 2.</p> <p>Vérifier le déplacement axial. Arrêter, vérifier que la tuyauterie du piston d'équilibrage n'est pas obturée.</p>
--	------------------------------	---	--	--	--	--------------------------	--

3. La maintenance par l'analyse des huiles :

La surveillance des lubrifiants industriels consiste à mesurer l'état de dégradation et de contamination des lubrifiants pour connaître leur capacité à assurer correctement leur fonction. L'analyse des lubrifiants en service est un outil de maintenance conditionnelle des équipements industriels. Les facteurs responsables de l'évolution d'un lubrifiant en service sont :

- La pollution par les liquides tels que l'eau et les solvants et des particules diverses (poussières, matériaux plastiques, fibres, etc.) causée par le processus industriel et son environnement ;
 - Les particules métalliques dues à l'usure ou à la corrosion provenant des composants parcourus par le lubrifiant ;
 - L'oxydation, en présence d'air ou d'atmosphère corrosive, surtout lorsque des variations de température sont importantes. Le suivi régulier de l'évolution des caractéristiques d'huile et la comparaison aux caractéristiques de l'huile neuve procurent des éléments de diagnostics à partir desquels se prennent les décisions d'intervenir sur le matériel ou de procéder au remplacement de la charge d'huile.
 - La comparaison des résultats n'est pertinente que si l'échantillon est représentatif et si la périodicité de prélèvement est respectée.
 - Il convient donc de préparer une méthodologie qui sera mise en œuvre dès la mise en service des équipements.
- Deux paramètres importants conditionnent la lubrification correcte des machines tournantes:
L'état du lubrifiant et l'état des surfaces lubrifiées.
- Les analyses d'échantillons du fluide permettent de déterminer d'une part les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant et d'autre part identifier une usure des éléments mécaniques.
- Deux facteurs prépondérants interviennent pour modifier les caractéristiques d'un lubrifiant:
La dégradation - La contamination

3.1. Rôle et fonctions des lubrifiants:

Le rôle d'un lubrifiant est tout d'abord la diminution du frottement, cause principale de l'usure. Il permet une formation d'un film qui sépare les éléments glissant l'un sur l'autre. Par ses propriétés physiques, il assure également d'autre fonction :

- Refroidissement: évacuation de la chaleur produite par le frottement ou par une source extérieure;
- Protection contre la rouille et d'autres types de corrosion.
- Filtration: mise en suspension des particules et piégeage sur un filtre.
- Etanchéité: matelas visqueux entre les pièces mécaniques.
- Transmission de l'énergie: dans les circuits hydrauliques et les transmissions automatiques de véhicules.

3.2. Les additifs :

On trouve les familles d'additifs habituellement employés dans les huiles lubrifiantes

3.2.1. Les antioxydants:

Les huiles utilisées dans les applications hautes température et en contact avec l'air s'oxyderont en formant des composés chimiques qui peuvent dégrader la viscosité et provoquer la corrosion. Les antioxydants peuvent multiplier par 10 et plus la résistance de l'huile à l'oxydation.

3.2.2. Les anti-usures:

Ces additifs anti-usure ou anti-wear (AW) ferment une couche qui protégé contre l'usure en évitant le contact direct entre les surfaces.

3.2.3. Les additifs EP actifs:

Les additifs EP (extrême pression) accroissent la capacité de charge du film lubrifiant.

Ils se combinent physiquement avec le métal et ferment une surface dont la résistance est moins importance que le métal lui-même.

Le cisaillement est plus facile, ce qui évier un contact métal/métal et un grippage.

Pour les roulements fortement charges, par exemple les roulements de laminoirs, on recommande habituellement l'utilisation de graisse contenant des additifs EP. Mais il faut être très prudent dans le choix d'un lubrifiant EP et se faire confirmer par le fabricant la formule

des additifs EP pour ne pas endommager le matériel. Les additifs EP les plus courants contiennent des composés phosphates, chlorés et soufrés.

3.2.4. Les additifs anti-mousses:

Avec les additifs anti-mousses, la tension de surface est réduite et les bulles de lubrifiant éclatent lorsqu'elles atteignent la surface du bain d'huile.

3.3. Analyse d'huile:

Le lubrifiant est comparable au sang de la machine. Il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule.

Le suivi de ses caractéristiques physico-chimiques permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile et de connaître son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur des conditions d'exploitation de l'équipement.

Elle va permettre d'optimiser les fréquences des vidanges, dans le cas de quantités importantes.

Le suivi de la contamination permet:

- De situer l'organe défectueux, d'apprécier l'évolution et le type d'usure dans le cas d'une pollution par des particules internes;
- D'apprécier la nature et l'origine des agents extérieurs.
- On prend comme référence les caractéristiques de l'huile neuve et on compare les résultats obtenus à chaque analyse.
- Si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on atteint des valeurs trop éloignées des valeurs initiales, il faut soit intervenir au niveau de matériel, soit remplacer l'huile.

3.3.1. Vérifications quotidiennes:

a. Examen de l'aspect:

Un simple examen visuel de l'aspect du lubrifiant permet quelque fois de détecter une pollution:

➤ **Pollution par un liquide:**

Aspect trouble dans le cas d'une pollution par l'eau, ou changement éventuel de couleur en cas de pollution par un liquide soluble dans l'huile;

Pollution par des solides: présence de poussières, de particules métalliques, de rouilles, d'écailles de peinture, de débris de joints

b. Observation de la couleur:

L'observation de la couleur de l'huile peut aussi renseigner sur une forte dégradation du lubrifiant par oxydation ou par altération thermique.

Si la couleur de l'huile est très voisine de celle de l'huile neuve, en principe elle est en bon état.

Et die est considérée comme étant encore bonne si sa teinte reste claire et brunit légèrement.

Mais quand la couleur est nettement foncée, die est très oxydée et il faut envisager une vidange.

Il n'est pas normal qu'une huile industrielle noircisse en service;

Une huile de moteur noircit parce qu'elle se charge des suies de la combustion.

Si une huile industrielle noircir, il peut avoir un craquage de la molécule par suite:

- ✓ D'un chauffage avec une résistance électrique dont la puissance de chauffe dépasse ;
- ✓ Du passage de l'huile dans une zone où la température dépasse 330 au voisinage d'un four par exemple;
- ✓ D'un phénomène de micro-diesel provoqué dans un circuit hydraulique par des bulles d'air brutalement comprimées SOLIS haute pression.

L'huile en service peut prendre aussi d'autres colorations :

- ✓ Jaune beurre: émulsion avec une huile de couleur ambre;
- ✓ Chocolat: émulsion avec une huile assez foncée, une huile moteur ;
- ✓ Rouge: mélange avec un combustible ou une huile colorée en rouge, détérioration d'une peinture ou d'un produit anticorrosion ou détérioration d'un additif ;
- ✓ Verte: détérioration d'une peinture verte ou attaque d'un organe en métal jaune.

c. Sensation de l'odeur:

En complément de la description de l'aspect et de la couleur de l'huile, on peut ajouter une appréciation de l'odeur. Une huile en service ayant l'odeur d'un produit pétrolier est en bon état, Elle pourra avoir aussi des odeurs typiques des huiles neuves:

- Odeur agréable d'amande amère de certaines huiles pour turbines;
- Odeur légèrement désagréable d'ail au d'œuf pourri de certaines huiles de transe.

Une odeur de rance indiquera une oxydation :

- L'huile est encore bonne si l'odeur est légère et si la couleur est claire;
- Si l'odeur est forte et la couleur est foncée, une vidange sera nécessaire.
- Une odeur de brûle signifie que l'huile a été soumise à des températures élevées:
- Si la couleur est légère, l'huile est encore bonne;
- Si la couleur est foncée ou noire, il est nécessaire de faire une analyse.
- Et si l'on trouve des particules de charbon, une vidange, un nettoyage et une vérification de l'installation seront indispensables Une odeur chimique indique que l'huile a été polluée par certains produits, un solvant ou une huile synthétique. Une analyse en laboratoire sera utile.

d. Test d'huile à la tâche :

Une goutte d'huile moteur déposée sur un papier filtre s'étale et présente les différentes zones circulaires suivantes (figure1):

- ✓ Une ronde centrale plus ou moins grise ou noire (A);
- ✓ Une auréole plus foncée limitant la partie centrale (B);
- ✓ Une zone circulaire dans laquelle se diffusent les impuretés (C);
- ✓ Une zone circulaire extérieure où l'huile seule pénètre (D);
- ✓ Examens des taches:
- ✓ Plus la tache centrale est foncée, plus la pollution est importante;
- ✓ Plus l'auréole est large et grise, plus l'huile ne conserve ses propriétés détergentes.

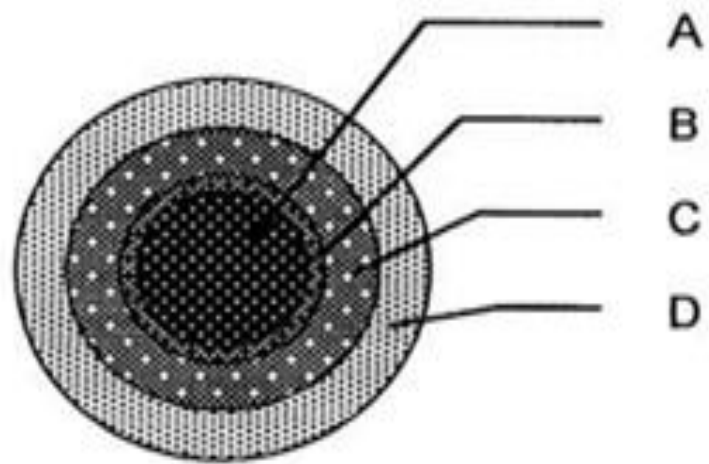


Figure 36: Tache d'huile

4. Plan de maintenance préventive lies à l'équipement

Tableau 22: Plan de maintenance préventive lies à l'équipement

Equipement	Plan de Maintenance Préventive		
Libellé	Libellé PMP	Périodicité en nombre d'unités d'œuvre réalisées	
		Unité	périodicité
TURBINE A VAPEUR	VISITE ANNUELLE	A	1
	REVISION MINEURE DU GROUPE	A	3
	REVISION MAJEURE DU GROUPE	A	6
	REPLACEMENT D'HUILE	A	6

Révision majeure c'est l'opération d'entretien de la majorité des éléments de la GTA c'est à dire alternateur plus Turbine avec démontage des pièces qui seront contrôlées, réparées ou remplacées.

Projet Fin D'études

Équipement	Libellé	Temps d'arrêt Machine nécessaire pour la gamme	Temps total de la gamme	Tâche (Opération)			Métier	Nb personnes
				N°	Libellé	Durée Opération (en H)		
TURBINE A VAPEUR	REVISION ANNUELLE	96	44		PALIER ADMISSION TURBINE			
					DEMONTAGE DES INSTRUMENTS EXTERIEURS DU PALIER		MEC	4
					DEPOSE DU SOUFFLET RETOUR D'HUILE DU SERVOMOTEUR HP		MEC	4
					DEPOSE DU CHAPEAU DE PALIER		MEC	4
					DEMONTAGE DES INSTRUMENTS INTERNES(CAPTEURS DE VIBRATION , DE VITESSE ET D' USURE BUTEE...)		REG	4
					DEPOSE BOITE DE BUTEE SUPERIEURE		MEC	4
					DEPOSE DES PATINS DE LA BUTEE + EXPERTISE		MEC	4
					DEPOSE BOITE DE BUTEE INFERIEURE		MEC	4
					DEPOSE DU ½ COUSSINET SUPERIEUR ET INFERIEUR		MEC	4
					DEPOSE DU ROTOR SUR LE FAUX COUSSINET .EXPERTISE,NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE DU 1/2 COUSSINET INFERIEUR		MEC	4
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET		MEC	4
					MONTAGE FINAL DU COUSSINET		MEC	4
					PALIER ECHAPPEMENT TURBINE			
					DEBRANCHEMENT DU MOTEUR DU VIREUR		ELE	2
					DEPOSE DE L'ENSEMBLE MOTO-REDUCTEUR + CHAPEAU DU PALIER ECHAPPEMENT		MEC	4
					DEMONTAGE DES CAPTEURS INTERNES (VIBRATION,TEMPERATURE)		REG	3
					DEPOSE DE ½ COUSSINET SUPERIEUR et de DE ½ COUSSINET INFERIEUR		MEC	4
					DEPOSE DU ROTOR SUR LE FAUX COUSSINET .EXPERTISE,NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE DU 1/2 COUSSINET INFERIEUR		MEC	4
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET		MEC	4
					MONTAGE FINAL DU COUSSINET		MEC	4

					LE MONTAGE FINAL DE LA BOITE DE BUTEE		MEC	4
					REGLAGE DU CAPTEUR USURE BUTEE ET MONTAGE DE TOUS LES CAPTEURS INTERIEURS DES DEUX PALIERS		REG	2
					POMPE ATTELEE			
					DEBRANCHEMENT ET DEMONTAGE TUYAUTERIE D'HUILE ET DEPOSE DU CORPS D'ASPIRATION		MEC	4
					VERIFICATION DU SERRAGE DES VIS DE PRESSION DE L'ECROU DE LA ROUE + CONTRÔLE VISUEL DE LA ROUE ET DES BAGUES D'USURE		MEC	4
					PALIER COTE ACCOUPLEMENT DE L'ALTERNATEUR			
					DEMONTAGE DES CAPTEURS (VIBRATION, TEMPERATURE)		REG	2
					DEPOSE DU CHAPEAU ET DEPOSE DE 1/2 COUSSINET SUPERIEUR		MEC	4
					DEPOSE DE 1/2 COUSSINET INFERIEUR		MEC	4
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET		MEC	4
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE		MEC	4
					DEMONTAGE DES CAPTEURS (VIBRATION, TEMPERATURE)		REG	2
					DEPOSE CHAPEAU ET 1/2 COUSSINET SUPERIEUR		MEC	4
					DEPOSE DE 1/2 COUSSINET INFERIEUR EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE		MEC	4
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE		MEC	4
	REVISION MINEURE	480	160		PALIER ADMISSION TURBINE			
					DEMONTAGE DES INSTRUMENTS EXTERIEURS DU PALIER		REG	2
					DEPOSE DU CHAPEAU DE PALIER		MEC	6
					DEMONTAGE DES INSTRUMENTS INTERNES (CAPTEURS DE VIBRATION, DE VITESSE ET D'USURE BUTEE...)		MEC	6
					DEPOSE ETRIER DE BUTEE ET DEPOSE BOITE DE BUTEE SUPERIEURE		MEC	6
					DEPOSE DES PATINS DE LA BUTEE + EXPERTISE		MEC	6

					DEPOSE BOITE DE BUTEE INFERIEURE ET DEPOSE ETRIER COUSSINET ADMISSION		MEC	6
					DEPOSE DE COUSSINE		MEC	6
					DEPOSE DU ROTOR SUR LE FAUX COUSSINET.EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE DU 1/2 COUSSINET INFERIEUR		MEC	6
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET		MEC	6
					MONTAGE FINAL DU COUSSINET		MEC	6
					LE MONTAGE FINAL DE LA BOITE DE BUTEE SEFAIT APRES AVOIR FAIT LE CONTRÔLE DU JEU DE BUTEE ET DES DEPLACEMENTS DU ROTOR		MEC	6
					PALIER ECHAPPEMENT TURBINE			
					DEPOSE DE L'ENSEMBLE MOTO- REDUCTEUR + CHAPEAU DU PALIER ECHAPPEMENT		MEC	6
					DEMONTAGE DES CAPTEURS INTERNES (VIBRATION, TEMPERATURE)		REG	2
					DEPOSE DE COUSSINET		MEC	6
					DEPOSE DU ROTOR SUR LE FAUX COUSSINET.EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE DU 1/2 COUSSINET INFERIEUR		MEC	6
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET		MEC	6
					MONTAGE FINAL DU COUSSINET+ ETRIER		MEC	6
					LE MONTAGE FINAL DE LA BOITE DE BUTEE (APRES AVOIR FAIT LE CONTRÔLE DU JEU DE BUTEE ET DES DEPLACEMENTS DU ROTOR)		MEC	6
					REGLAGE DU CAPTEUR USURE BUTEE ET MONTAGE DE TOUS LES CAPTEURS INTERIEURS DES DEUX PALIERS		REG	2
					POMPE ATTELEE			
					DEBRANCHEMENT ET DEMONTAGE TUYAUTERIE D'HUILE		MEC	6
					DEPOSE DU CORPS D'ASPIRATION		MEC	6
					VERIFICATION DU SERRAGE DES VIS DE PRESSION DE L'ECROU DE LA ROUE + CONTRÔLE VISUEL DE LA ROUE ET DES BAGUES D'USURE		MEC	6
					CONTROLE DES DILATOFLEX ASPIRATION ET REFOULEMENT DE LA POMPE		MEC	6
					LEVIER DE COMMANDE ET SOUPAPES BP et HP			
					DEMONTAGE CHAPEAUX		MEC	6

					DEMONTAGE FOURCHETTE	MEC	6
					DEPOSE DE L'ENSEMBLE SUPPORT-LEVIER	MEC	6
					DEMONTAGE DES ECROUS	MEC	6
					DEPOSE DES 2 SOUPAPES	MEC	6
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE	MEC	6
	REVISION MAGEURE	1200	400		PALIER ADMISSION TURBINE		
					DEMONTAGE DES INSTRUMENTS EXTERIEURS DU PALIER	REG	2
					DEPOSE DU CHAPEAU DE PALIER	MEC	8
					DEMONTAGE DES INSTRUMENTS INTERNES (SONDES DE T°, CAPTEURS DE VIBRATION, DE VITESSE ET D'USURE BUTEE...)	MEC	8
					DEPOSE ETRIER DE BUTEE	MEC	8
					DEPOSE BOITE DE BUTEE SUPERIEURE	MEC	8
					DEPOSE DES PATINS DE LA BUTEE + EXPERTISE	MEC	8
					DEPOSE BOITE DE BUTEE INFERIEURE	MEC	8
					DEPOSE ETRIER COUSSINET ADMISSION	MEC	8
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET	MEC	8
					MONTAGE FINAL DU COUSSINET	MEC	8
					MONTAGE FINAL DE LA BOITE DE BUTEE SEFAIT APRES AVOIR FAIT LE CONTRÔLE DU JEU DE BUTEE ET DES DEPLACEMENTS DU ROTOR	MEC	8
					PALIER ECHAPPEMENT TURBINE		
					DEBRANCHEMENT DU MOTEUR DU VIREUR	ELE	2
					DEPOSE DE L'ENSEMBLE MOTO-REDUCTEUR + CHAPEAU DU PALIER ECHAPPEMENT	MEC	8
					DEMONTAGE DES CAPTEURS INTERNES (VIBRATION, TEMPERATURE)	MEC	8
					DEPOSE DE ½ COUSSINET SUPERIEUR	MEC	8
					DEPOSE DE ½ COUSSINET INFERIEUR (APRES AVOIR SOULEVE LE ROTOR DE 2/10MM PAR VERIN HYDRAULIQUE 10T ET ROTATION POUR DEMONTAGE LA SONDE DE T°)	MEC	8
					DEPOSE DU ROTOR SUR LE FAUX COUSSINET. EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE DU 1/2 COUSSINET INFERIEUR	MEC	8
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET	MEC	8
					MONTAGE FINAL DU COUSSINET	MEC	8

					LE MONTAGE FINAL DE LA BOITE DE BUTEE (APRES AVOIR FAIT LE CONTRÔLE DU JEU DE BUTEE ET DES DEPLACEMENTS DU ROTOR)		MEC	8
					REGLAGE DU CAPTEUR USURE BUTEE ET MONTAGE DE TOUS LES CAPTEURS INTERIEURS DES DEUX PALIERS		REG	2
					POMPE ATTELEE (voir la révision mineure)			
					PALIER COTE ACCOUPLEMENT DE L'ALTERNATEUR			
					DEMONTAGE DES CAPTEURS (VIBRATION, TEMPERATURE)		REG	2
					DEPOSE DU CHAPEAU		MEC	8
					DEPOSE DE 1/2 COUSSINET SUPERIEUR		MEC	8
					SOULEVEMENT DU ROTOR PAR VERIN HYDRAULIQUE DE 10T (MONTEE DE 2/10 MM)		MEC	8
					EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE		MEC	8
					CONTRÔLE DU JEU DU COUSSINET (UTILISATION DE FIL DE PLOMB EPAISSEUR 0,5MM)		MEC	8
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE		MEC	8
					PALIER COTE EXCITATRICE DE L'ALTERNATEUR		MEC	8
					DEMONTAGE DES CAPTEURS (VIBRATION, TEMPERATURE)		MEC	8
					DEPOSE CHAPEAU ET 1/2 COUSSINET SUPERIEUR		MEC	8
					SOULEVEMENT DU ROTOR PAR VERIN HYDRAULIQUE		MEC	8
					EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE		MEC	8
					DEPOSE DE 1/2 COUSSINET INFERIEUR EXPERTISE, NETTOYAGE ET REMISE EN PLACE		MEC	8
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE		MEC	8
					LEVIER DE COMMANDE ET SOUPAPES HP et HP			
					DESACCOUPLEMENT SERVOMOTEUR ET LEVIER DE COMMANDE		MEC	8
					DEMONTAGE CHAPEAUX ET LES RESSORTS		MEC	8
					DEMONTAGE DES ECROUS		MEC	8
					DEPOSE DES 4 SOUPAPES		MEC	8

					DESACCOUPLMENT TIGES ET COULISSEAU APRES DEVISSAGE VIS	MEC	8
					RETIRER LE COULISSEAU	MEC	8
					VISITER EVENTUELLEMENT LES BAGUES	MEC	8
					VISITER EVENTUELLEMENT LES DOUILLES	MEC	8
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE	MEC	8
					SERVO-MOTEUR HP/BP		
					DEPOSE TUYAUTERIES + DESACCOUPLMENT DU SERVOMOTEUR ET LEVIER DE COMMANDE + DEBRANCHEMENT FILS DE REGULATION	REG	2
					DEPOSE DU SOUFFLET DE RETOUR D'HUILE	MEC	8
					DEMONTAGE ECROUS DE MAINTIEN DES SERVO-MOTEURS SUR LE STATOR ET DEPOSE DES SERVO-MOTEURS	MEC	8
					DEMONTER LE CHAPEAU DU DISTRIBUTEUR	MEC	8
					DEPOSER LE TRANSFORMATEUR	MEC	8
					DEPOSER LE COLLET DE PISTON	MEC	8
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE EN CHARGEANT TOUS LES JOINTS VOIR LES LISTES DE PIECE DE RECHANGE)	MEC	8
					OBTURATEUR DE PROTECTION		
					DEBRANCHEMENT DES FIN DE COURSE	REG	2
					DESACCOSTAGE DE LA TUYAUTERIE	MEC	8
					ELINGUER L'ENSEMBLE	MEC	8
					DEMONTAGE ECROU	MEC	8
					VISITE DU SIEGE + FILTRE VAPEUR + CLAPET (VISIBLE SANS DEMONTAGE)	MEC	8
					DEPOSE CARTER	MEC	8
					DEPOSE SUPPORT 20 17 H ET LES CONTACTS DE FIN DE COURSE	MEC	8
					DEPOSE DE COUVERCLE 20.17A (VIS 20.17B) LES VIS LONGUE 20.17C SERONT DEVISSÉS EN PARALLELE POUR AMENER LA TENSION DU RESSORT AZERO	MEC	8
					DEPOSE DEL'ENTRETOISE 2014V, LE RESSORT 2014Y ET LE PISTON 2013L	MEC	8

					DEMONTAGE ENSEMBLE VIDE- VITE (ECROUS 20.15K)		MEC	8
					DEMONTAGE COUVERCLE 20.15N (VIS 20.15Q) ET LE PISTON 2015L		MEC	8
					REMONTAGE DE L'ENSEMBLE EN CHANGEANT TOUS LES JOINTS (VOIR LISTE DES PIECES DE RECHANGE)		MEC	8
					ACCOUPEMENT REPERE: B5			
					DEMONTAGE DES BOULONS D'ACCOUPEMENT (UTILISATION D'OUTILLAGE SPECIAL"02 EXTENSEURS HYDRAULIQUES+POMPE HYDRAULIQUE") SE REFERER A LA NOTICE ALSTOM N°695 TOME 1 CHAPITRE 3		MEC	8
					DEPOSE DE LA CALE ENTRETOISE DE L'ACCOUPEMENT		MEC	8
					CONTRÔLE DE L'ALIGNEMENT		MEC	8
					REMISE EN PLACE DE LA CALE ENTRETOISE ET TOUS LES BOULONS ET SERRAGE DEUX A DEUX		MEC	8
					ROTOR			
					ELINGUAGE DU ROTOR		MEC	8
					SOULEVER TRES LENTEMENT LE ROTOR BIEN HORIZONTAL JUSQU'A CE QUE LA PLUS GRANDE ROUE SOIT DEGAGEE		MEC	8
					DEPOSE DU ROTOR SUR SUPPORT ADEQUAT		MEC	8
					EXPERTISE DU ROTOR PAR UN SPECIALISTE (EVALUATION L'ETAT D'ENDOMAGEMENT DES LECHETTES DU ROTOR ET DES AILETTES DES ROUES)		MEC	8
					DEBUTER LE PLUSTOT POSSIBLE LES TRAVAUX DE REFECTION DES LECHETTES ET REPARATION D'AILETTES		MEC	8
					DIRECTRICES			
					FAIRE TOURNER LES DIRECTRICES DANS LEUR LOGEMENT POUR LES ELINGUER		MEC	8
					POUR LES DIRECTRICES MONTES A LIBRE DILATATION DEMONTER LES VIS DE FIXATION DE CLAVETTE AU JOINT HORIZONTAL		MEC	8
					POUR LES AUTRES DEMONTER LES VIS DIAPHRAGMMES QUI LES MAINTIENNENT		MEC	8
					DEPOSE DES DIRECTRICES		MEC	8
					SABLAGE ET CONTRÔLE PAR RESSUAGE		MEC	8

5. Plans de maintenance conditionnelle liés à l'équipement :

Dans l'industrie toutes les machines nécessitent une **maintenance** appropriée que l'on qualifie de **curative** lorsque l'intervention est faite après une panne et de **préventive** si l'intervention est programmée avant que le matériel ne tombe en panne.

La maintenance préventive est elle-même classée en deux méthodes: la maintenance **systematique**, qui consiste à programmer les interventions en fonction d'un calendrier défini à l'avance, et la maintenance **conditionnelle**, qui repose sur le déclenchement d'une alarme en fonction d'un signal (vibration, bruit, température,...).

Les entreprises sont le plus souvent organisées pour réaliser elles-mêmes **la maintenance curative** et **la maintenance préventive systematique**. Voilà le plan de maintenance conditionnelle de la Turbine à Vapeur :

Tableau 23: Plans de maintenance conditionnelle liés à l'équipement

Equipment	Plan de Maintenance Conditionnelle			Déclencheur		
libelle	Libellé PMC	Périodicité de relevé	Seuil mini	Seuil maxi	Unité	Grandeur mesurée**
TURBINE A VAPEUR	Métal butée		45	80	°c	TEMPERATURE
	Coussinet (turbine)		45	85	°c	TEMPERATURE
	Métal coussinet (turbine)		45	85	°c	TEMPERATURE
	Butée			0,8...+0,35	mm	USURE
	Palier I (turbine)			20	µm	VIBRATION
	Palier II (turbine)			20	µm	VIBRATION
	Dilatation différentielle			-2...+2	mm	
	Palier I (alternateur)			20	µm	VIBRATION
	Palier II (alternateur)			20	µm	VIBRATION
	Métal coussinet I (alternateur)			85	°c	TEMPERATURE
	Métal coussinet II (alternateur)			85	°c	TEMPERATURE

CONCLUSION GENERALE :

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes fixés pour mission Analyse des causes de l'usure butée et recherche des solutions pour minimiser ses effets.

En premier lieu, une description méticuleuse de la Turbine, nous a permis de déceler les problèmes liés à la maintenance et à l'exploitation de la turbine dont il faut veiller à assurer un contrôle continu vu leur grande capacité de production.

Une étude détaillée de l'usure butée sujets de notre étude s'est imposée par la suite afin de se familiariser avec leurs principes de fonctionnement. Ceci a amorcé une étape qui revêt une grande importance relative à l'exploitation du dossier historique ainsi que le témoignage des opérateurs, chose qui nous a permis de recenser les différents modes de défaillances et les différentes solutions réalisées par le groupe ALSTOM afin d'y remédier.

A ce stade d'étude, une simulation par éléments finis sur le logiciel ANSYS s'est avérée nécessaire afin de se focaliser sur le système fonctionnelle névralgique - patin et butée - de la turbine et d'évaluer l'efficacité de la politique actuelle de maintenance. Par la suite, nous avons mis en œuvre la démarche HAZOP afin de d'améliorer les causes racines du problème.

Finalement, il était d'une vitale importance de chiffrer l'ensemble des améliorations, nous avons alloué un chapitre où nous avons explicité l'ensemble des améliorations portant d'un côté sur la conception de certains composants du patin entre autre :

- on va travailler avec des patins cuivrée au lieu des patins en régule qui résiste mieux an la température.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrage :

- [1] Yann Henry -Analyse expérimentale de l'effet de la texturation des patins sur le comportement des butées hydrodynamiques à géométrie fixe.
- [2] Exida L.L.C., Electrical & Mechanical Component Reliability Handbook, 2005.
- [3] Bernard J. Hamrock, Steven R. Schmid, Bo O. Jacobson-Fundamentals of Fluid Film Lubrication (Mechanical Engineering)-CRC Press (2004) p29-37.
- [4] Bharat Bhushan(auth.)-Introduction to Tribology, Second Edition (2013).
- [5] Baumik, S. (2002), Failure of Turbine Rotor Blisk of an Aircraft Engine, Engineering Failure Analysis, Vol. 9, pp 287-301.
- [6] [1997] Kehlhofer R. - Combined-cycle gas and steam turbine power plants.
- [7] ms_ritgerd_Almar.G –maintenance of the steam turbines powerplant.
- [8] (McGraw-Hill handbooks) Philip Kiameh-Power generation handbook _ selection, applications, operation, and maintenance-McGraw-Hill (2003).
- [9] Steven Louis Breitenbach, Deepak Saha patents/US8523519.
- [10] 2013-Gherca-Andrei-These Modélisation de la lubrification des surfaces texturées. Application à la butée en régime hydrodynamique.

Annexes

Annexe 1 : Paramètre de marche

- Puissance apparente	47 000 KVA
- Puissance en marche continue	37 600 Kw
- Tension $\pm 5\%$	11 000 V
- Fréquence	50 Hz
- Vitesse	3 000 tr/mn
- Entre fer	35 mn
- Débit air	17 m ³ /s
- Pertes à dissiper	700 Kw
- Nombre de sortie haute tension	3 phases et 1 neutre
- Nombre de phases	03
- Couple de court – circuit en charge à la tension nominale à Un +5%	237 000

Caractéristique Physique STATOR

- Nombre de cannelures	54
- Nombre de conducteurs / cannelures	02
- Pas de l'encoulement	0 à 22
- Résistance à froid par phase	0,00340 Ω
- Nombre de sortie de bornes	06
- Classe d'isolation	F
- Montage des phases	Étoile
- Température maxi par thermocouples	120°C

ROTOR

- Nombre de pôles	02
- Nombre de cannelures	24
- Tension d'excitation	250 V
- Intensité d'excitation	520 A
- Résistance à froid	0,3480 Ω
- Température maxi par variation de résistance	130°C

POIDS (EN Kg)

- Stator	35 300
- Rotor + induit excitation	15 600
- Paliers	1 600
- Excitateur	400
- Socle carcasse	17 000
- Habillage	2 500
- Réfrigérants	2 000
- Divers	2 000
- Masse totale approximative de l'alternateur	76 400

Annexe 2 : Poste d'huile

Poste d'huile	Graissage	Régulation	Motrice
- Pression huile (bars)	1,5	12	12
- Température huile (°C)	45 ± 5	60	60
- Débit huile (l/mn)	540	50	310
- Filtration (μ)	25	25	non filtrée
- Viscosité huile (Cst à 40°C)	32	32	32

Annexes 3 : Distribution de Weibull

Valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme.

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1 901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	92,625	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244
0,35	5,291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	33,234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	24,686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	17,024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,546	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	13,663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	12,638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	11,906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	10,522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,165
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,25	0,99314	0,75	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,667	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9316	0,168
1,5	0,9027	0,613	3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
1,55	0,8994	0,593	3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9335	0,163
1,6	0,8966	0,574	3,8	0,9083	0,266	6,8	0,934	0,161
1,65	0,8942	0,556	3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,15