

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

كلية التكنولوجيا

قسم الهندسة الميكانيكية

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER Professionnel

En Génie Mécanique

Option : Technique de Production Industrielle

Thème :

Rénovation des coussinets pour les turbines à gaz .

Proposé et dirigé Par :

Dr. Makri. H

Présenté Par :

GUENFOUD Mohamed

BERRA Mounir

Année Universitaire : 2019/2020

N° d'ordre : GM/...../2020

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier
chaleureusement notre encadreur
le Dr. Makri Hocine pour son aide et
ses précieux conseils et pour sa grande
disponibilité tout au long de la période
de préparation de notre mémoire.*

*Nous remercions également nos parents
nos frères et sœurs et tous nos amis
pour leur aide et leurs encouragements.*

ملخص:

تلعب توربينات الغاز الصناعي دورًا مهمًا في أنظمة توليد الطاقة ، ويُنظر إلى المحامل على أنها مكون أساسي لتوجيه أعمدة التوربينات الدوارة وأيضًا لمقاومة التأثيرات والاهتزازات من الدوار. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقديم دراسة عامة حول المحامل « المحامل البسيطة » ومعالجة ظاهرة التآكل التي تتعرض لها وكذا طرق التجديد الممكنة.

Résumé :

Les turbines à gaz industrielles jouent un rôle important dans les systèmes de production de puissance et les paliers sont considérés comme un organe essentielle pour guider les arbres ces turbines en rotation et aussi pour résister les chocs et aux vibrations du rotor. L'objectif principal de ce travail est présente une étude générale sur les paliers de turbines a gaz « les paliers lisses » et de traiter le phénomène d'usure de ces elements ainsi que les les methodes de renovation possibles.

Abstract :

Industrial gas turbines played an important role in power generation systems, bearings are seen as an essential component for guiding rotating turbine shafts and also for resisting impacts and vibrations from the rotor. The main objective of this work is to present a general study on the bearings « plain bearings » and the phenomenon of wear which are exposed to it and the possible methods of its renovation.

Liste des symboles

| | |
|----|-----------------------------|
| Ra | Rayon de l'arbre [mm]. |
| Rc | Rayon de coussinet [mm]. |
| L | Le longueur du palier [mm]. |
| C | Jeu radial du palier [mm]. |
| D | Le diamètre du palier [mm]. |

Liste des figures

CHAPITRE I

| | |
|---|----|
| Figure I.1: Différente section d'une turbine à gaz | 4 |
| Figure I.2: Schéma simplifié d'une turbine à gaz. | 4 |
| Figure I.3: Section d'un compresseur axial..... | 5 |
| Figure I.4: Section chambre de combustion | 6 |
| Figure I.5: Directrice fixe de premier étage | 7 |
| Figure I.6: Directrice variable de deuxième étage. | 8 |
| Figure I.7: Schéma simplifié d'une turbine mono-arbre | 8 |
| Figure I.8: Schéma simplifié d'une turbine bi-arbre | 9 |
| Figure I.9: Schéma simplifié d'une turbine à action et à réaction | 9 |
| Figure I.10: Diagramme fonctionnel d'un groupe turbine à gaz | 11 |

CHAPITRE II

| | |
|---|----|
| Figure II.11: Un chapeau de palier en démontage | 13 |
| Figure II.12: Position de paliers dans la turbine à gaz. | 14 |
| Figure II.13: Un palier lisse dans une turbine à gaz. | 15 |
| Figure II.14: Caractéristiques géométriques d'un palier lisse. | 16 |
| Figure II.15: Illustration d'un palier en matériaux composite. | 20 |

CHAPITRE III

| | |
|---|----|
| Figure III.16: L'érosion et du grippage sur un coussinet. | 25 |
| Figure III.17: Phénomène de dommage dus. | 27 |
| Figure III.18: Formation de stries sur un coussinet. | 29 |
| Figure III.19: Coussinet présentant une incorporation | 30 |
| Figure III.20: Présentation de la migration de crasse dans un coussinet. | 31 |
| Figure III.21: Inclusions au dos du coussinet..... | 31 |
| Figure III.22: Signes d'érosion sur un coussinet. | 32 |
| Figure III.23: Détail d'usure par cavitation. | 33 |
| Figure III.24: Figure illustrant l'endommagement par fatigue. | 35 |
| Figure III.25: Fissures de chaleur sur un coussinet. | 37 |
| Figure III.26: Présentation de la fusion de la couche de roulement. | 37 |
| Figure III.27: Décolorations du dos du coussinet. | 38 |
| Figure III.28: Détail de la corrosion de friction. | 38 |
| Figure III.29: Corrosion chimique repérée par le cercle. | 40 |

CHAPITRE IV

| | |
|---|----|
| Figure IV.30: Palier de turbine à gaz endommagée démonté pour réparation. | 44 |
| Figure IV.31: Agrandissement de la zone endommagée du coussinet. | 45 |
| Figure IV.32: préparation des baguettes de régule. | 46 |
| Figure IV.33: Four de fusion pour préparer la baguette de la régule. | 46 |
| Figure IV.34: Opération de Rechargement manuel de coussinet. | 47 |
| Figure IV.35: Le coquille que utilise dans l'opération. | 47 |
| Figure IV.36: Schéma simplifié de réglage des coussinets par centrifugation. | 48 |
| Figure IV.37: Nettoyage et Montage du coussinet sur la table. | 50 |

| | |
|---|----|
| Figure IV.38: Contrôle géométrique du coussinet. | 50 |
| Figure IV.39: Palier avant l'opération de dérégulage..... | 51 |
| Figure IV.40: Palier en situation de dérégulage. | 51 |
| Figure IV.41: Palier après l'opération de dérégulage. | 51 |
| Figure IV.42: Présentation du sable utilisé pour le sablage. | 52 |
| Figure IV.43: Etat du palier après sablage. | 52 |
| Figure IV.44: Obturation des trous par du Gypse. | 53 |
| Figure IV.45: Mise en place des plaques de klingerite. | 53 |
| Figure IV.46: Préparation du support du coussinet. | 53 |
| Figure IV.47: La pâte a étamer utilisé. | 54 |
| Figure IV.48: Le coussinet après l'étamage. | 54 |
| Figure IV.49: Préparation d'une quantité de 60 KG de régule à température 350 C. | 55 |
| Figure IV.50: Couler la régule avec les pièces en rotation. | 55 |
| Figure IV.51: Refroidissement rapide par de l'eau. | 55 |
| Figure IV.52: Séparation des deux demi et nettoyage du coussinet. | 56 |
| Figure IV.53. Surfaçage du surplus du régule. | 56 |
| Figure IV.54: L'opération d'alésage. | 57 |
| Figure IV.55: présentation du coussinet après usinage. | 57 |
| Figure IV.56: Le pénétrant et révélateur utilisé. | 58 |
| Figure IV.57: Opération de contrôle par ressuage. | 58 |
| Figure IV.58: Exécution de l'opération de contrôle par ultrason sur un palier. | 59 |

Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau II.1: Propriétés mécaniques des matériaux pour paliers hydrodynamiques. 21

CHAPITRE IV

Tableau IV.2: Les alliages de régule disponible. 49

Sommaire

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

CHAPITRE I:Généralité sur Les turbines à gaz

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 3 |
| 2. Description de turbine a gaz | 4 |
| 2.1. Compression | 4 |
| 2.2. Combustion..... | 5 |
| 2.3. Turbine .. | 7 |
| 2.3.1. Directrice fixe de premier étage..... | 7 |
| 2.3.2. Directrice de deuxième étage..... | 8 |
| 3. Classification de la turbine à gaz | 8 |
| 3.1. Par le mode de construction..... | 8 |
| 3.2. Par le mode de travail | 9 |
| 3.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique .. | 10 |
| 4. Principe de fonctionnement..... | 10 |

CHAPITRE II:Le guidage dans les turbines à gaz

| | |
|---|----|
| 1. Description | 13 |
| 1.1. Définition de palier..... | 13 |
| 1.2. Les types des paliers..... | 14 |
| 1.3. Les avantages des paliers lisses..... | 15 |
| 1.4. Les inconvénients des paliers lisses..... | 15 |
| 1.5. Les paramètres du palier lisse..... | 15 |
| 1.6. Caractéristiques géométriques du palier lisse | 16 |
| 2. Conditions pour bon fonctionnement..... | 16 |
| 2.1. Jeu..... | 16 |
| 2.2. Lubrification..... | 16 |
| 2.3. Alignement..... | 17 |
| 3. Choix des matériaux pour les paliers à coussinets..... | 17 |
| 3.1. Matériaux pour l'arbre..... | 18 |
| 3.2. Matériaux pour les surfaces de glissement | 18 |
| 3.2.1. Matériaux métalliques | 19 |
| 3.2.2. Matériaux non métalliques | 19 |
| 3.2.3. Matériaux frittés | 20 |
| 3.2.4. Matériaux composites | 20 |

CHAPITRE III:Dégradations des paliers à coussinet

| | |
|---|----|
| 1. Les symptômes de la dégradation des coussinets | 23 |
| 1.1. L'élévation de température | 23 |
| 1.2. Les vibrations | 24 |
| 1.3. Le fouettement de l'arbre | 24 |
| 2. Les dégradation des paliers: causes et remedes..... | 24 |
| 2.1. Usure par friction mixte | 24 |
| 2.1.1. Érosion et grippage | 25 |
| 2.2. Dommage dus à des particules | 27 |

| | |
|---|----|
| 2.2.1. Formation de stries | 29 |
| 2.2.2. Incorporation | 30 |
| 2.2.3. Trace de migration de crasse | 30 |
| 2.2.4. Inclusions au dos du coussinet | 31 |
| 2.3. Érosion et cavitation | 32 |
| 2.3.1. Érosion | 32 |
| 2.3.2. Cavitation | 33 |
| 2.4. Dommages par fatigue | 34 |
| 2.5. Dommages par surchauffe | 36 |
| 2.5.1. Fissures de chaleur | 37 |
| 2.5.2. Fusion de la couche de roulement | 37 |
| 2.5.3. Décolorations de la couche de roulement ou du dos du coussinet | 38 |
| 2.6. Corrosion | 38 |
| 2.6.1. Corrosion de friction/rouille d'ajustage | 38 |
| 2.6.2. Corrosion chimique | 40 |
| 3. Conclusion | 41 |

CHAPITRE IV: Maintenance d'un palier de turbine à gaz

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 43 |
| 2. Présentation de la Société de Maintenance des Equipements Industriels (MEI) | 43 |
| 3. Présentation d'un palier à coussinet dégradé | 44 |
| 4. Analyse des dégâts et constat | 45 |
| 5. Solutions envisagées | 45 |
| 6. Présentation des méthodes possibles de rénovation | 46 |
| 6.1. Régulage des coussinets par colée sous pression (manuel) | 46 |
| 6.2. Régulage des coussinets par coulée directe ou statique | 47 |
| 6.3. Régulage des coussinets par colée centrifugation | 48 |
| 7. Opération de maintenance d'un palier lisse | 50 |
| 7.1. Expertise du coussinet | 50 |
| 7.2. Dérégulage | 51 |
| 7.3. Sablage au corindon | 52 |
| 7.4. Préparation de la pièce | 53 |
| 7.5. Etamage et réglage | 54 |
| 7.6. Usinage | 56 |
| 7.7. Contrôle CND (Contrôle Non Destructif) | 58 |
| Conclusion générale | 60 |
| Références bibliographiques | 61 |

Introduction générale

Les turbines à gaz fait partie de la catégorie des TURBOMACHINES définies par râteau comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un rotor tournant autour d'un axe à vitesse constante et un fluide en écoulement permanent. La grande puissance, le bon fonctionnement ainsi que les hautes performances des turbines à gaz font d'elles un des moyens les plus sollicités pour l'entraînement des charges mécaniques.

Parmi les composants de la turbine à gaz on cite les paliers à coussinet qui jouent un rôle important dans le guidage des arbres et supporté ses charges. Les paliers sont les organes le plus important et stratégique dans les machines tournantes ou bien les conceptions mécanique en générale. Ils sont destinés à sustenter le rotor dans le corps, et pour générer l'amortissement nécessaire pour assurer un comportement vibratoire au sain de la machine. À cause des divers charges et facteurs les paliers a coussinet se dégradent et tombent en défaillance.

L'objectif de ce travail, qui s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude est de rechercher dans les méthodes de d'assurer la maintenance d'un palier de turbine à gaz. Suite au stage pratique décroché au sein de la societe MEI ous nous avons la chance d'assister à la maintenance d'une turbine à gaz et nous rapportons à travers ce manuscrit les détails relatifs à la rénovation d'un palier de turbine à gaz.

Le manuscrit est subdivisé en quatre chapitres avec une introduction et une conclusion générale biensur. Ou dans le premier chapitre on décrit la turbine à gaz, son principe de fonctionnement et ses classifications. Les paliers et leur conditions de bon fonctionnement, les matériaux utilises ont été présentés dans le deuxième chapitre.

Le troisième chapitre est consacré à tous ce qu'a une relation avec la dégradation des paliers, Tandis que le quatrième et dernier chapitre est reservé au traitement de la maintenance des paliers de turbines à gaz ou un problème réel à été présente. Il s'agit un palier dégradé qu'on a suivi durant toutes les étapes de rénovation, depuis la reception jusqu' à l'expédition.

Chapitre I. Généralités sur les turbines à gaz

1. Introduction :

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue. Elle peut être considérée comme un système autosuffisant. En effet, elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertie cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel. [1]

Sous sa forme la plus simple, une turbine à gaz comprend un compresseur axial qui aspire l'air à la pression atmosphérique; une chambre de combustion, où l'air comprimé est réchauffé à pression constante par la combustion d'une certaine quantité de combustible (gaz naturel, gasoil ou kérosène) et enfin une turbine de détente des gaz jusqu'à la pression atmosphérique. [1]

Selon le type de fluide utilisé, dit fluide actif ou fluide moteur, on a une turbine hydraulique, une turbine à vapeur ou une turbine à gaz. Dans ce dernier cas, le fluide moteur le plus fréquemment utilisé provient des gaz de combustion d'un combustible liquide ou gazeux. [2]

Selon le type d'énergie délivrée, les turbines à gaz se répartissent en deux classes d'une part, les turbomoteurs fournissant de l'énergie mécanique disponible sur un arbre et, d'autre part, les turboréacteurs fournissant de l'énergie cinétique utilisable pour la propulsion. [2]

Ce chapitre est dédié à la présentation et à la collecte des connaissances technologiques sur les turbines à gaz.

2. Description de la turbine à gaz :

Une turbine à gaz est constituée par: une entrée conditionnant l'air (filtration et éventuellement refroidissement), un compresseur, une chambre de combustion, une turbine de détente, l'échappement vers une cheminée. (Figure I.1)



Figure I.1: Différente section d'une turbine à gaz.

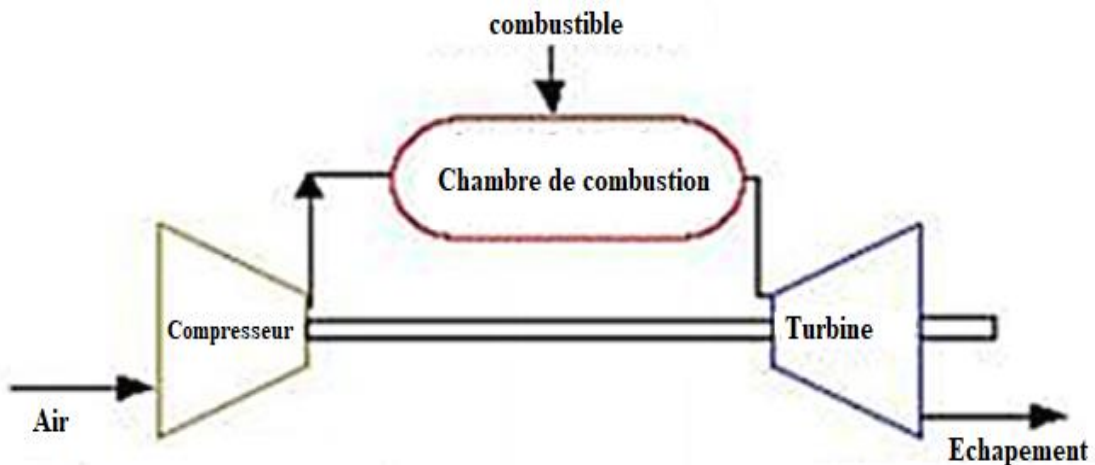


Figure I.2: Schéma simplifié d'une turbine à gaz. [6]

2.1.Compression :

Le compresseur est utilisé pour accroître la pression de l'air. Cette compression permet d'optimiser les processus de combustion et d'extraction de puissance puisque la combustion du mélange fuel/air se fait dans un plus petit volume. D'autre part, l'augmentation du taux de compression entraîne une augmentation de l'efficacité thermique. Deux types de compresseurs existent : les compresseurs axiaux et les compresseurs centrifuges. Un

paramètre important à prendre en compte est l'encombrement. Ainsi, si on dispose d'un espace réduit, les compresseurs axiaux sont moins encombrants. D'autre part, la surface faciale d'un compresseur axial est beaucoup plus petite que celle d'un compresseur centrifuge. Chaque ensemble rotor-stator du compresseur constitue un étage de compression. Le taux de compression qu'autorise un seul étage est de l'ordre de 2, toutefois il est beaucoup plus facile de multiplier les étages que dans le cas des compresseurs centrifuges. Les taux de compression autorisés aujourd'hui par les compresseurs axiaux sont de l'ordre de 30. [3]

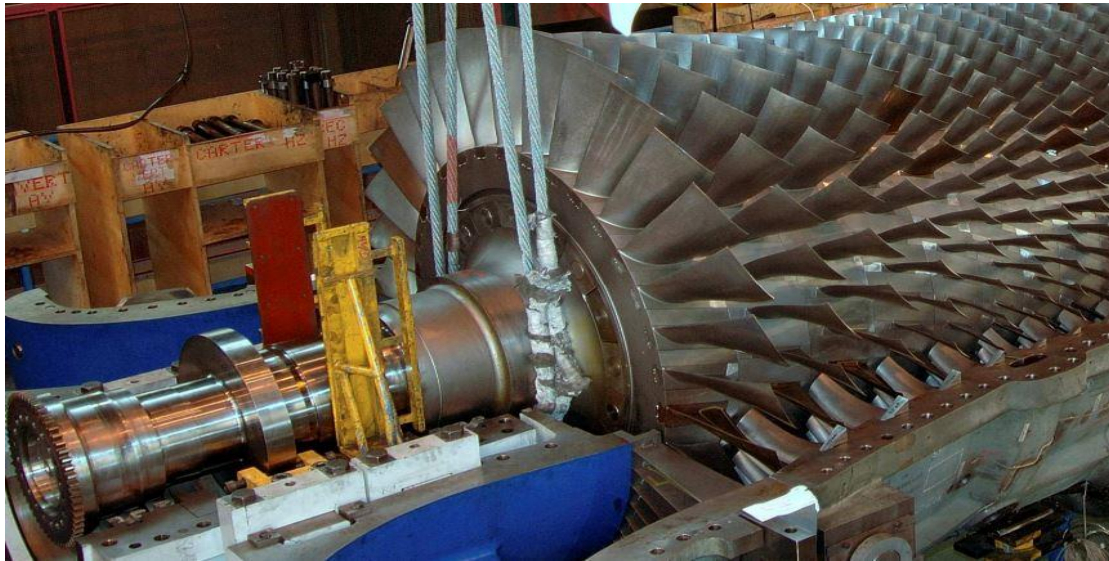


Figure I.3: Section d'un compresseur axial.

2.2. Combustion:

La section combustion se compose de :

- L'enveloppe des chambres de combustion, douze carters externes de combustion,
- 12 ensembles chapeau et chemise de combustion,
- 12 ensembles de pièces de transmission,
- 12 injecteurs de combustible,
- 02 bougies d'allumage,
- 04 détecteurs de flamme,
- 12 tubes d'interconnexion et divers joints et pièces de visserie.

L'enveloppe des chambres de combustion est un élément soudé qui entoure la partie arrière du carter de refoulement du compresseur et reçoit l'air de refoulement du compresseur à flux axial.

Le combustible est envoyé dans chaque chemise des chambres de combustion par un injecteur de combustible monté dans le couvercle de la chambre de combustion et pénétrant le

chapeau du tube de flamme. La combustion du mélange air-gaz est déclenchée par les bougies.

Lorsque l'allumage se produit dans l'une des deux chambres, les gaz chauds de combustion passent dans les tubes d'interconnexion et allument le mélange air-gaz des autres chambres.

Les tubes d'interconnexion relient les douze chambres de combustion entre elles et permettent à la flamme de la chambre allumée de se propager aux chambres non allumées qui se trouvent d'un côté ou de l'autre. [3]

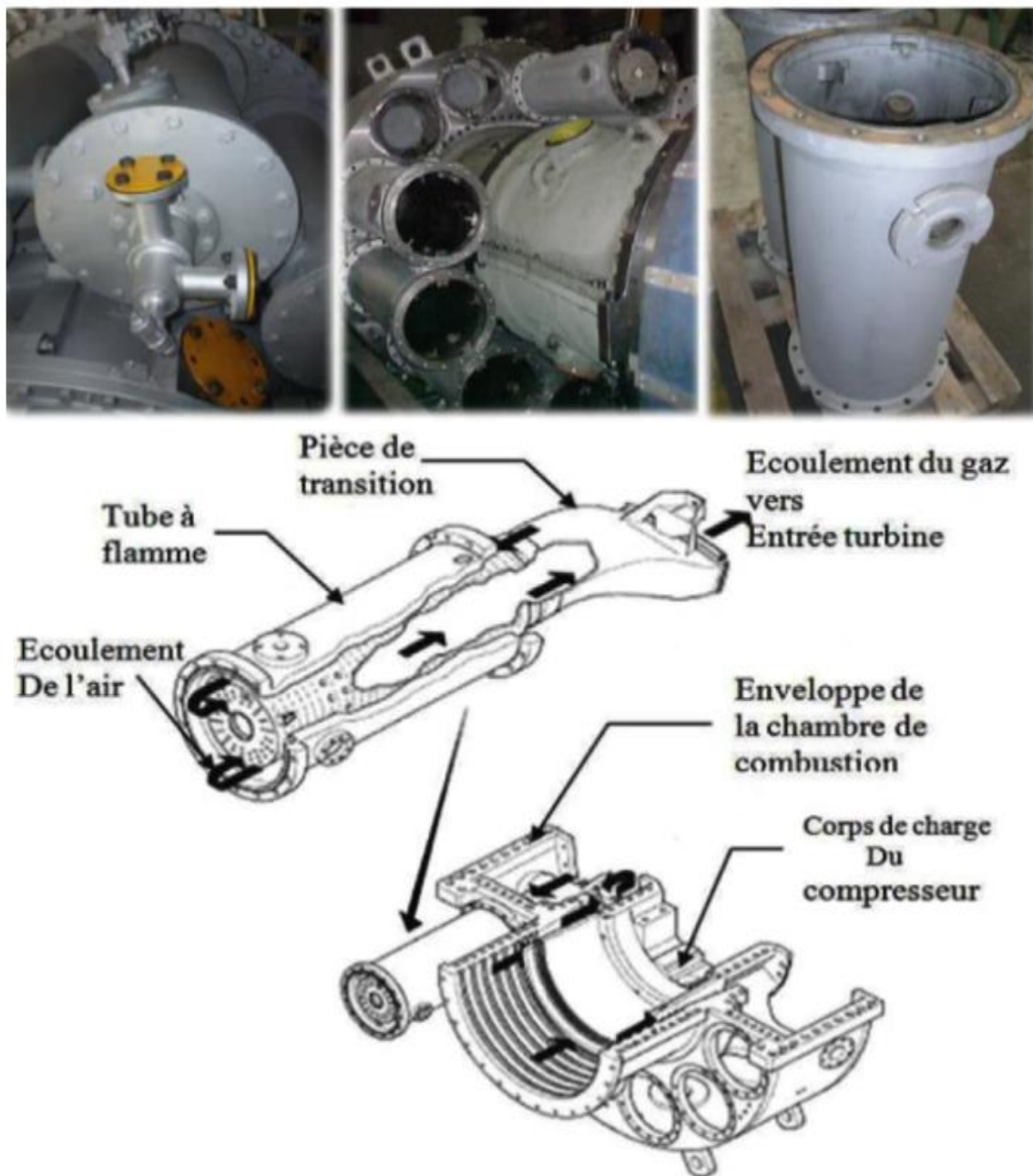


Figure I.4: Section chambre de combustion. [5]

2.3. Turbine:

La section turbine est celle où les gaz à haute températures de la section combustion sont convertis en énergie mécanique. La section contient aussi les composants suivants:

- le corps de la turbine,
- la directrice fixe du premier étage,
- la roue HP de la turbine premier étage,
- la directrice à aubes variable du deuxième étage et la roue BP de la turbine deuxième étage.

En plus la section inclut l'ensemble de diaphragme, étanchéité à air et les pièces de la voie des gaz entre étages. Toutes les pièces du stator ont été fabriquées de manière qu'elles puissent être divisées en deux moitiés horizontales pour faciliter l'entretien. [4]

2.3.1. Directrice fixe de premier étage :

Elle se compose de segments montés dans une bague de retenue, soutenue dans la veine des gaz par un dispositif de fixation du carter de la turbine. L'air de refoulement du compresseur en provenance du carter des chambres de combustion passe autour de la bague de retenue, puis dans les parois percées de la directrice et sort enfin par les trous de purge de la veine des gaz d'échappement. Ce flux d'air sert à refroidir les profils de la directrice. [5]



Figure I.5: Directrice fixe de premier étage.

- **Turbines bi-arbres:** elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charge variable (pompe, compresseur...)(figure I.8). [6]

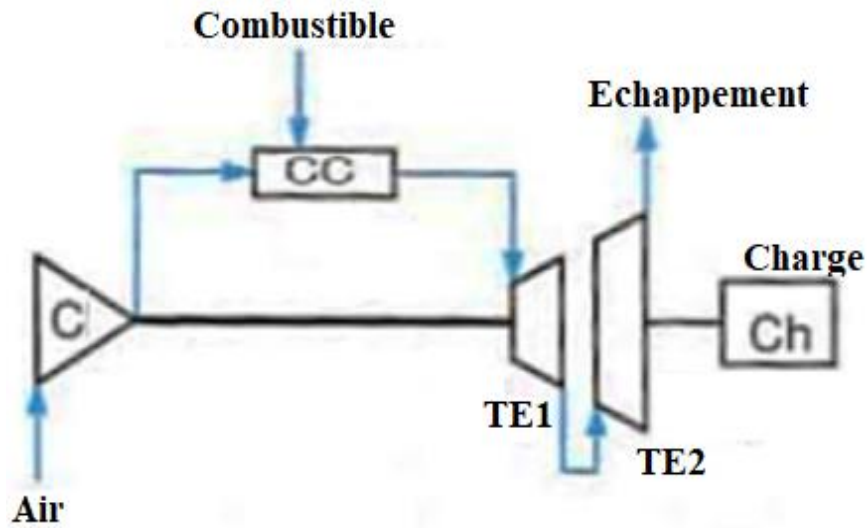


Figure I.8: Schéma simplifié d'une turbine bi-arbre.[6]

3.2.Par le mode de travail:

- **Turbine à action :** la détente se fait uniquement dans les aubages fixes.
- **Turbine à réaction :** la détente est répartie entre les aubages fixes et mobiles. [5]

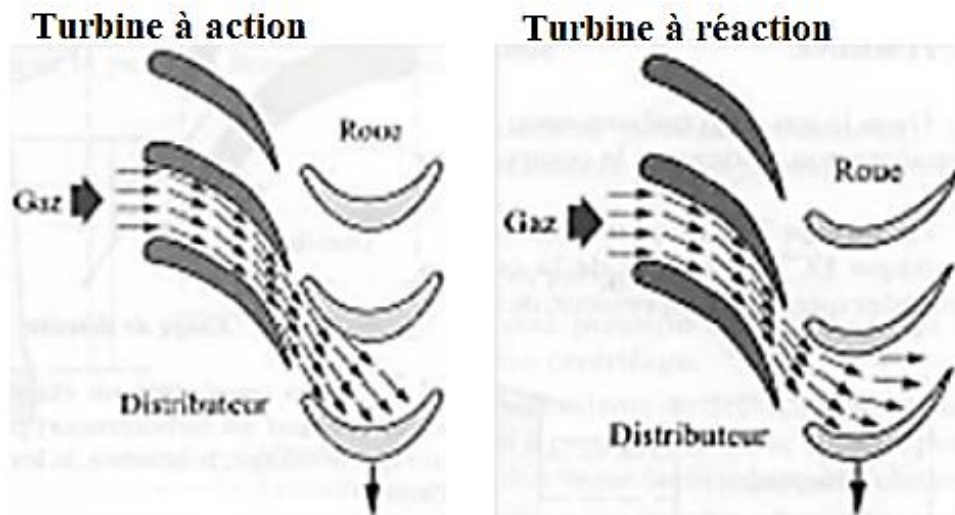


Figure I.9: Schéma simplifié d'une turbine à action et à réaction.[5]

3.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique:

Il existe deux cycles thermodynamiques:

- **Turbine à cycle fermé:** dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.
- **Turbine à cycle ouvert:** c'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans l'atmosphère [5]. Ce type est divisé en deux classes:

- **Cycle simple :** c'est une turbine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente les gaz possédant encore un potentiel énergétique ils sont perdus dans l'atmosphère à travers la cheminée [5].
- **Cycle régénéré :** c'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation. [5]

4. Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz :

Dès que la ligne d'arbre est mise en mouvement par le moteur de lancement, l'air atmosphérique est aspiré, filtré, et dirigé à travers les gaines d'admission vers l'entrée du compresseur axial. Pour prévenir le pompage du compresseur, des vannes d'extraction d'air en aval (vannes anti-pompage) sont en position " ouverte" pendant le démarrage, et les aubes a orientation à l'entrée du variable (I.G.V.) situées compresseur sont en position dite "fermée".

Lorsque la vitesse de rotation atteint 95% de sa valeur nominale, un relais de vitesse provoque fermeture automatique des vannes d'extraction d'air et l'ouverture à une position prédéterminée des I.G.V. situées à l'entrée du compresseur.

A la sortie du compresseur axial, l'air pénètre dans un espace annulaire entourant les chambres de combustion, puis dans l'espace situé entre l'enveloppe des chambres et les tubes de flammes.

Les injecteurs introduisent le combustible dans chacune des chambres de combustion où il est mélangé à l'air de combustion venant du compresseur. La mise à feu est réalisée par deux bougies d'allumage (mais une seule suffit pour réaliser la mise à feu). Chacune de ces deux bougies équipe une chambre de combustion déterminée. La combustion se propage dans les autres chambres à travers les tubes d'interconnexion qui les relient entre elles au niveau de la zone de combustion. Quand la turbine a presque atteint sa vitesse nominale, la pression des gaz à l'intérieur des chambres est suffisante pour provoquer le retrait des électrodes rétractables équipant les bougies d'allumage. Ainsi, les électrodes sont protégées de l'action de la flamme.

Les gaz chauds venant des chambres de combustion se propagent à travers les pièces de transition placées à l'arrière des tubes de flamme pour traverser ensuite les 3 étages turbine. Chaque étage est constitué par un ensemble d'aubes fixes suivi d'une rangée d'aubes

mobiles. Dans chaque rangée d'aubes fixes, l'énergie cinétique du jet de gaz augmente, parallèlement à la diminution de la pression. Dans la rangée adjacente d'aubes mobiles, une partie de l'énergie cinétique du jet est convertie en travail utile transmis au rotor de la turbine.

Après leur passage dans les 3 étages turbine, les gaz d'échappement traversent le cadre d'échappement et le diffuseur, constitué d'une série de déflecteurs transformant la direction axiale des gaz en direction radiale tout en minimisant les pertes par frottement. Les gaz parviennent ensuite au caisson d'échappement et sont évacués à l'atmosphère par le système d'échappement.

Le travail fourni au rotor de la turbine, en partie utilisé pour l'entraînement du compresseur axial et d'auxiliaires turbine, sert à faire tourner l'alternateur. [3]

Dans sa forme la plus simplifiée, le principe de fonctionnement des turbines à gaz est présenté sur la figure suivante.

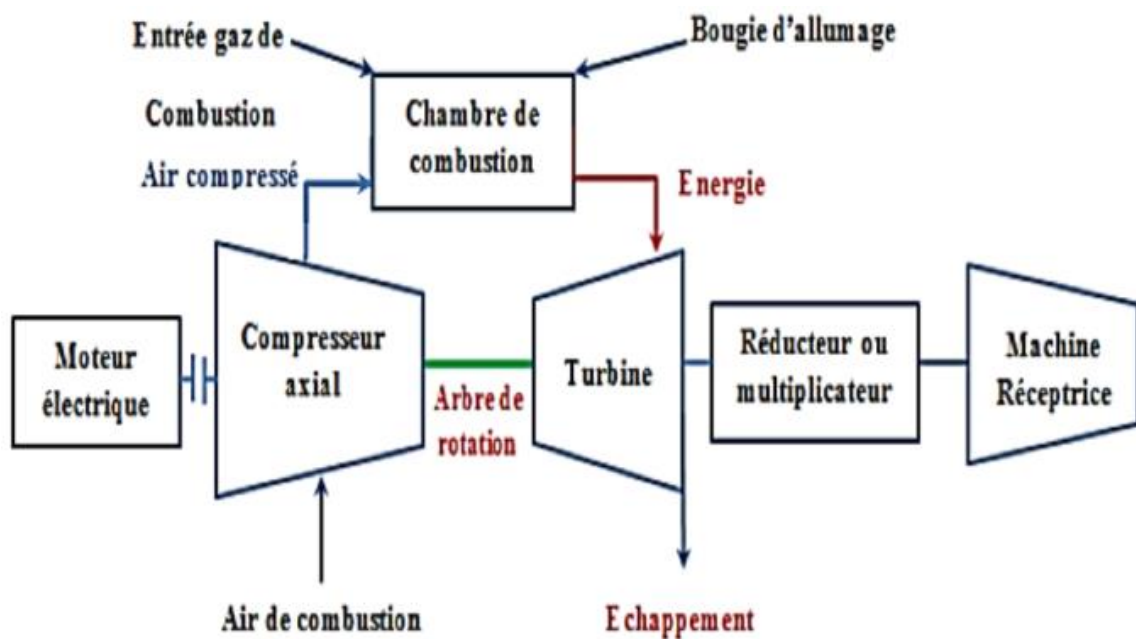


Figure I.10: Diagramme fonctionnel d'un groupe turbine à gaz.[5]

Chapitre II : Le guidage dans les turbines à gaz.

Le problème du comportement des paliers est une préoccupation majeure pour les fabricants d'énergie. Dans le cas des transmissions « haute-puissance », les industriels font souvent recours aux paliers pour le support des lignes d'arbres.

Le choix d'un type de support est une décision qui doit être prise dans la première phase du processus de conception.

Le palier est un support ou guide qui détermine la position d'une pièce mobile par rapport aux autres pièces d'une turbine. [7]

Essentiellement, ce chapitre a pour vocation d'établir une présentation des différents supports utilisés par les industriels pour le guidage de ces fameuses lignes d'arbres des machines tournantes.

1. Description :

1.1. Définition des paliers :

Les paliers sont des éléments de machine utilisée pour guider les arbres en rotation (assurer la rotation parfaite par rapport à l'axe théorique), Ils assurent le mouvement libre et la position dans l'espace des arbres et des essieux et en même temps reprendre les charges qui agissent sur eux et les transmettre à la partie fixe de la turbine. [8]

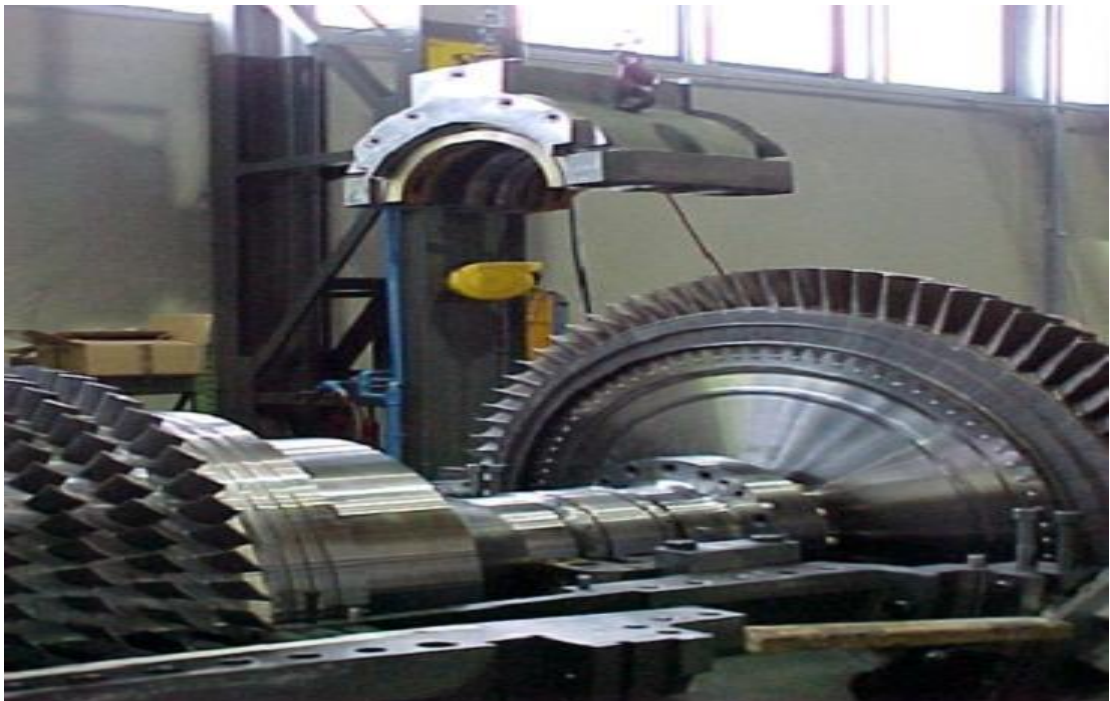


Figure II.11: Un chapeau de palier en démontage.

Un palier lisse, linéaire ou rotatif, est constitué d'un piédestal en fonte ou en acier qui est destiné à être boulonné sur le bâti de la turbine. Illustre un palier lisse rotatif. Le piédestal est percé d'un trou dans lequel est ajusté un coussinet. [8]

Le coussinet doit être ajusté serré dans le piédestal, car il ne doit pas tourner. En général, le coussinet est fabriqué en bronze (alliage de cuivre et d'étain), en alliage d'aluminium ou avec un polymère thermoplastique comme le nylon, l'acétal ou un autre matériau de la même famille. D'une façon générale, le coussinet est fabriqué d'un matériau plus mou que le tourillon, qui constitue la partie mobile du palier. Le coussinet est mou pour pouvoir se déformer initialement et absorber les particules d'usure éventuelles et les corps étrangers qui peuvent y pénétrer. Le tourillon est en acier durci et lisse afin de résister à l'usure par abrasion. Pour que le tourillon puisse tourner dans le coussinet, il faut un jeu de fonctionnement radial. [8]

La turbine a quatre paliers principaux de type à patins oscillant et elliptique qui supportent le compresseur et les rotors de la turbine. (Figure II.12)

- Les paliers elliptiques 1 et 2 supportent le compresseur/rotor de la turbine.
- Les paliers à patin oscillant 3 et 4 supportent la génératrice.

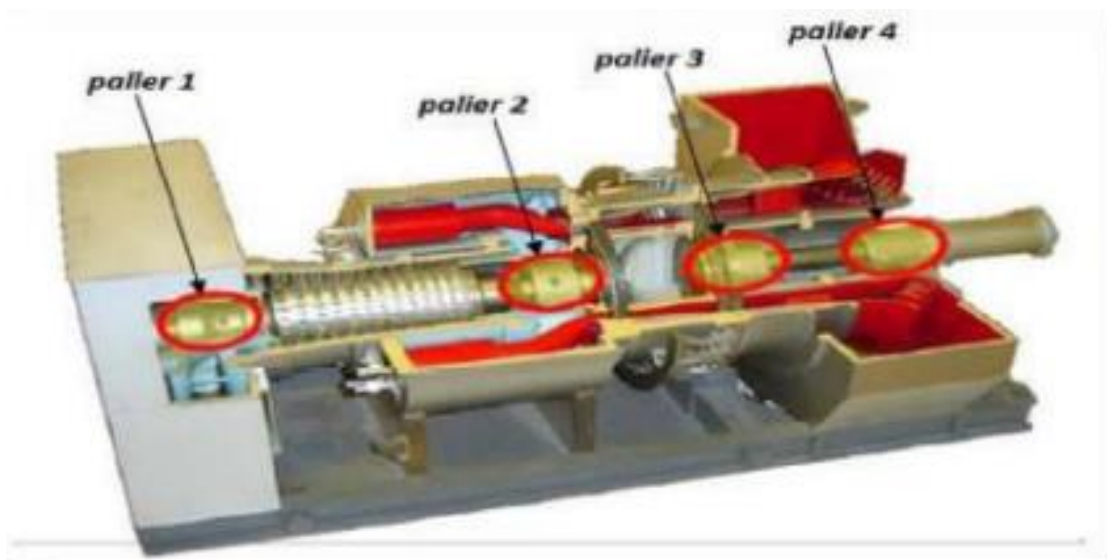


Figure II.12: Position de paliers dans la turbine à gaz.

1.2. Les types des paliers :

Les principaux supports qu'on retrouve dans la pratique sont les suivants :

- Les paliers de roulement,
- Les paliers secs,
- Les paliers poreux,
- Les paliers magnétiques,
- Les paliers fluides (hydrodynamiques, hydrostatiques et hybrides).

Une attention toute particulière sera portée sur les paliers fluides (lisses).



Figure II.13: Un palier lisse dans une turbine à gaz.

1.3. Les avantages des paliers lisses :

Les paliers lisses présentent des avantages qui sont les suivants :

- Insensibilité aux chocs et aux vibrations à cause de leurs grandes surfaces porteuses amortissantes lubrifiées,
- Silencieux,
- Insensibilité à la poussière,
- Fonctionnement à de grandes vitesses de rotation,
- Durées de vie illimitée dans le domaine de frottement liquide,
- Montage et démontage faciles des arbres lorsqu'il s'agit des coussinets fractionnés.

1.4. Les inconvénients des paliers lisses :

Les paliers lisses présentent aussi des inconvénients qui sont les suivants :

- S'opposent au démarrage du rotor (grande moment résistant),
- Nécessitent une grande quantité d'huile pour la lubrification,
- Nécessitent une surveillance permanente,
- Leur rendement est moins élevé que celui des roulements.

1.5. Les critères de choix d'un palier lisse :

Les principaux critères qui interviennent dans le choix d'un palier cylindrique sont:

- **Les paramètres géométriques** : diamètre, longueur, jeu radial
- **Les paramètres cinématiques** : vitesse de rotation, charge
- **Les paramètres dynamiques** : charge variable, mode de rotation, vibrations....

- **Les paramètres liés aux caractéristiques du lubrifiant :** viscosité dynamique, masse volumique, chaleur spécifique.

1.6. Caractéristiques géométriques du palier lisse:

Un palier lisse est constitué de deux éléments, l'arbre de rayon R_a et le coussinet de rayon R_c et de longueur L ainsi, un palier lisse peut être schématisé par deux cercles de rayons voisins et caractérisé par trois grandeurs:

- Le jeu radial ($C = R_c - R_a$),
- Le jeu relatif (C/R) qui est de l'ordre de 10^{-3} ,
- Le rapport de la longueur au diamètre du palier (L/D).

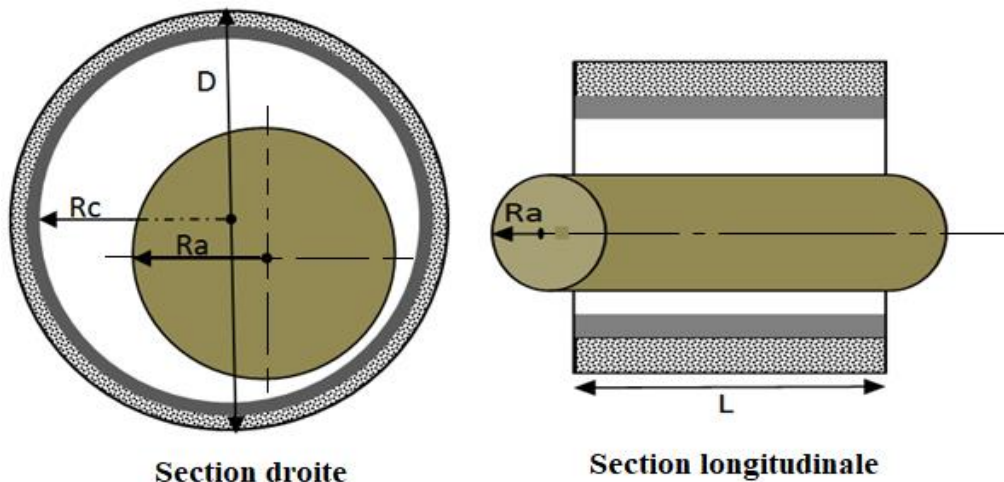


Figure II.14: Caractéristiques géométriques d'un palier lisse.

2. Conditions pour bon fonctionnement du palier lisse :

2.1. Le jeu :

Un jeu adéquat entre l'arbre et le palier permet à l'arbre de conserver sa stabilité. Un jeu trop serré entraînerait trop de frottement et par conséquent, une chaleur excessive. Un jeu trop grand, quant à lui, occasionnerait des vibrations ou une perte de concentricité. [9]

La « règle générale » qui s'applique au jeu entre le palier et l'arbre est de $0,001 + 0,001\rho$ par pouce de diamètre de l'arbre. Des éléments tels que la vitesse de rotation, le rapport diamètre/longueur du palier, le degré de viscosité de l'huile et la charge supportée constituent autant de facteurs qui contribuent à déterminer le jeu optimal applicable pour un palier donné. [9]

2.2. La lubrification :

Une lubrification adéquate permettant un minimum de frottement est l'élément clé de la durée de vie d'un palier à coussinet. Un débit continu d'huile est assuré par une ou plusieurs bagues de lubrification ou bien à l'aide d'un système forcé. L'huile est acheminée par la partie

supérieure de l'arbre où une cannelure de distribution se remplit. Par la rotation de l'arbre, les bagues de lubrification (qui reposent sur l'arbre) tournent également, soulevant l'huile et l'entraînant vers le palier et l'arbre. L'huile est extraite de la cannelure de drainage à chacune des extrémités pour être ensuite refroidie lorsqu'elle se mélange à celle qui se trouve déjà dans le réservoir.

Sur certains modèles de paliers à coussinet, des guides ou des mentonnets sont ajoutés afin d'améliorer le transfert de l'huile de chacune des bagues vers l'arbre et le palier. Ces guides servent également à garder l'alignement des bagues bien droit, ce qui est particulièrement important sur les machines à haute vitesse. Une bague qui présente un mauvais alignement tourne plus lentement et transporte moins d'huile, augmentant ainsi la température du palier. Les bagues doivent être circulaires (tolérance d'environ 0,002 po) de façon à pouvoir tourner à vitesse constante.

La cannelure de distribution d'huile, appelée parfois « fly-cut » ou « Sidé Pocket », procure un approvisionnement en huile constant. Cet apport en huile permet de maintenir une pression statique suffisante pour conserver un film d'huile constant entre l'arbre et le palier. Un joint d'extrémité contribue également à maintenir la pression.

La taille de la cannelure de distribution peut se révéler un élément critique, en particulier sur les moteurs bipolaires. Si elle est trop petite, elle ne pourra contenir suffisamment d'huile pour maintenir la pression. Un fini irrégulier de la surface antifriction et la difficulté à obtenir une usure uniforme suggère la présence d'une surchauffe occasionnée par une cannelure de distribution trop petite. Il s'avère alors nécessaire d'élargir l'ouverture. [9]

2.3.L'alignement:

Les moteurs équipés de paliers à coussinet sont particulièrement sensibles au désalignement. Un désalignement important devient évident lorsque les points de contact d'un palier à coussinet se retrouvent aux coins diagonalement opposés du palier.

La vitesse du rotor n'est pas le seul élément à considérer pour déterminer le degré de précision d'alignement voulu. Pour tourner à tous les régimes, un alignement correct devient encore plus critique avec l'augmentation de la longueur du palier à coussinet. [9]

3. Choix des matériaux pour les paliers à coussinets :

Le système tribologique des paliers comporte quatre composants:

- Arbre,
- Surface de glissement,
- Lubrifiant si présent,

- Milieu ambiant.

Le choix correct des matériaux assure une fonction efficace de ces éléments de machines. Les propriétés générales des matériaux pour les surfaces de frottement sont:

- Une résistance suffisante aux pressions exercées par l'arbre ou le pivot et par le lubrifiant,
- Un comportement neutre avec la contre pièce sans risques de grippage,
- Une élasticité ou même une plasticité assez grande afin de supporter les déformations sous la charge,
- Une capacité de rodage pendant la mise en exploitation du palier,
- Une résistance à l'usure afin de conserver la forme géométrique adéquate pendant toute la durée de vie,
- Une marge de sécurité suffisante de fonctionnement pendant un temps relativement court, en présence d'une avarie, comme par exemple un manque de lubrifiant,
- Une excellente possibilité d'adhésion entre la surface de glissement et le lubrifiant si ce dernier est souhaité,
- Une excellente capacité de transmission de chaleur.

Le choix industriel, dit choix pratique, impose un certain nombre de compromis : efficacité du palier pour un prix de revient aussi faible que possible.[10]

3.1. Matériaux pour l'arbre :

Les aciers de construction sont utilisés pour la fabrication des arbres placés dans les paliers radiaux. Ils doivent présenter une résistance mécanique suffisante pour transmettre les efforts, une dureté 3 à 5 fois supérieure à celle du revêtement des coussinets ou des butées, un état de surface à rugosité très faible obtenu par rectification et/ou rodage. Les aciers au nickel ayant tendance à gripper, ils sont à éviter. Par contre, les aciers au chrome ou les revêtements de chrome dur améliorent notablement les conditions de glissement. [10]

3.2. Matériaux pour les surfaces de glissement :

Deux grandes catégories de matériaux sont utilisées pour la fabrication des paliers de guidage : les matériaux métalliques et les matériaux non métalliques. Les propriétés exigées sont principalement :

- Facilités de fabrication et l'aptitude à l'obtention de surfaces lisses,
- Bonne résistance à la pression locale,
- Coefficient de dilatation linéaire voisin de celui de l'arbre,
- Insensibilité au glissement de surfaces solides peu ou pas lubrifiées du tout,

- Résistance suffisante aux chocs.

Citons les principales propriétés des matériaux pour palier de guidage simple.

3.2.1. Matériaux métalliques :

Peut s'employer comme matériau pour paliers les matériaux métalliques suivants :

- **La fonte grise:** peut s'employer comme matériau pour butées et paliers à très faibles charges et petites vitesses de glissement; elle est très sensible aux pressions locales.
- **L'acier durci superficiellement par traitement thermique:** suffisamment lubrifié et l'acier fritté trouvent application dans les petits paliers.
- **Les alliages à base de cuivre:** comme les bronzes, les laitons, les alliages cupro-étain, cupro-plomb et cupro-aluminium, sont introduits comme pièces d'usure sous formes tubulaire, circulaire et plane. Les conditions de transmission de chaleur sont excellentes mais ces alliages nécessitent toujours une bonne lubrification.
- **Les revêtements en métal blanc:** à base d'étain, de plomb, de cuivre et d'antimoine, possèdent d'excellentes propriétés de glissement et de rodage. Ils sont peu sensibles à la présence de particules solides microscopiques. L'étain est parfois remplacé par le zinc ou le plomb dans les paliers ordinaires afin d'abaisser les coûts du métal et de fabrication [10].

3.2.2. Matériaux non métalliques :

Les matériaux non métalliques s'emploient dans les paliers non lubrifiés ou dits lubrifiés à vie, en petite mécanique dans l'appareillage, en présence d'atmosphère corrosive, pour faciliter la maintenance et diminuer le niveau sonore d'un entraînement [10]. Ce sont principalement :

a) Matières synthétiques :

Les matières synthétiques les plus courantes sont : les polyamides PA6 et PA66 de base ou chargés de fibre de verre ou de carbone avec adjonction de matières plus ou moins autolubrifiantes, les polyoxyméthylènes (POM), possédant une bonne compatibilité avec l'acier, les polytétrafluoréthylènes (PTFE), présentant une très bonne résistance à l'attaque de produits chimiques, une bonne résistance mécanique jusqu'à des températures de 100°C et plus, un faible coefficient de frottement si les surfaces sont lubrifiées.

Les principaux inconvénients des matières synthétiques sont : un fluage important sous charge, une mauvaise conductibilité thermique et un grand coefficient de dilatation linéaire.

Les caractéristiques mécaniques et les propriétés au frottement peuvent s'améliorer par adjonction de graphite, de bisulfure de molybdène, de silicones et de revêtement en PTFE. Un autre avantage non négligeable des matières synthétiques est de pouvoir fabriquer par injection de thermoplastes le palier ou la butée dans l'élément de machine lui-même comme par exemple dans les petites roues dentées, les petites cames, etc. Les caractéristiques peuvent s'améliorer, surtout dans les pièces fabriquées par extrusion, par adjonction de matières autolubrifiantes et de charges. Ces matériaux modifiés possèdent alors une augmentation de la résistance à l'usure et à la pression, de meilleures propriétés thermiques et mécaniques, une très bonne stabilité dimensionnelle alliée à une facilité de fabrication.[10]

b) Les élastomères :

Les élastomères comme les caoutchoucs naturels et/ou synthétiques durcis : ils sont utilisés en présence d'une lubrification à l'eau (exemple : les essuie-glaces de voiture).

c) Les charbons synthétiques :

Les charbons synthétiques sous forme de matériaux poreux avec le plus souvent des adjonctions de produits lubrifiants. Ils supportent des températures très élevées, jusqu'à 400°C, mais sont sensibles aux efforts mécaniques localisés.

3.2.3. Matériaux frittés :

Fabriquées à partir de poudres métalliques en grains fins par pressage et frittage, les pièces pour paliers et butées contiennent des pores servant de réservoir de lubrifiant (huile).[10]

3.2.4. Matériaux composites :

Ce sont habituellement des feuilles d'acier ou de bronze revêtues de plusieurs couches à base de métal et de matières synthétiques(Figure II.15). Le but de cette solution est d'obtenir un compromis entre d'une part la résistance mécanique élevée des matériaux métalliques, une bonne conductibilité thermique améliorant la transmission de chaleur et d'autre part appliquer les excellentes propriétés de glissement des matières synthétiques. [10]

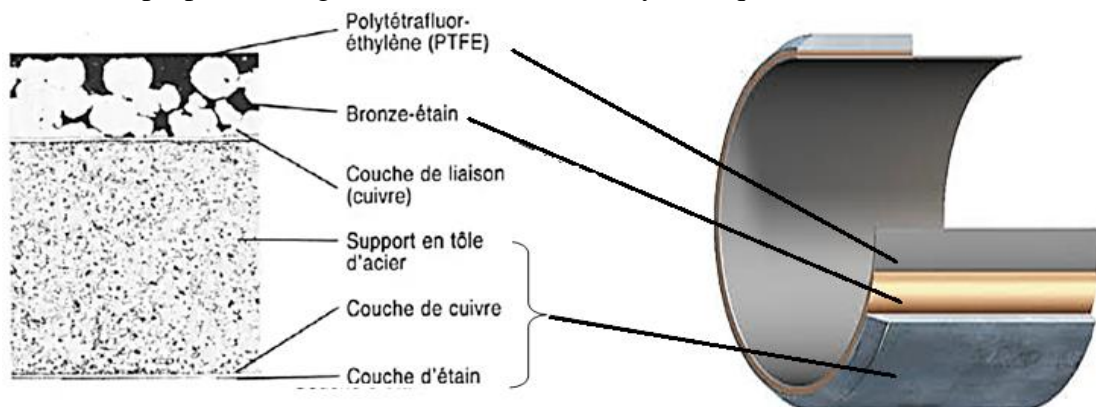


Figure II.15: Illustration d'un palier en matériaux composites.

Les propriétés mécaniques des matériaux pour paliers hydrodynamiques sont portées au (tableau II.1). Les propriétés des matières synthétiques dépendent de plusieurs facteurs comme par exemple :

- Du procédé de fabrication, de la présence ou de l'absence d'éléments lubrifiants,
- Du comportement en fonction de la température et de l'humidité de l'air,
- Du fluage en fonction des contraintes provoquées surtout par des pressions très localisées.

Les renseignements fournis par les fabricants de semi-finis ou de paliers de catalogue permettent d'effectuer un premier choix parmi toutes les variantes proposées (parfois plusieurs dizaines de compositions différentes !). [10]

| Matériaux du coussinet | Pression Moyenne N/mm ² | Plage des vitesses m/s | Produit p · v W/mm ² | Frottement | |
|--|------------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------|------------|
| | | | | μ en % | Lubrifiant |
| Métalliques | | | | | |
| Fonte grise GG15 | 2,0 à 0,5 | 0 à 1,0 | 0,5 | 5 à 12 | G & H |
| Bronze CuSn10 | 5,0 à 2,0 | 0 à 6,0 | 1,0 à 3,0 | 4 à 10 | H & G |
| Cupro-zinc | 2,0 à 1,0 | 0 à 4,0 | 0,5 à 1,0 | 4 à 10 | H & G |
| Alliages ZnAlCu | 10,0 à 2,0 | 0 à 5,0 | 0,5 à 5,0 | 3 à 12 | H & G |
| Bronze fritté | 2,0 à 1,0 | 0 à 3,0 | 1,0 à 2,5 | 5 à 10 | H & G |
| Synthétiques | | | | | |
| Polyamide PA 6 | 1,5 à 0,08 | 0,001 à 1,5 | 0,2 à 1,1 | 5 à 28 | G (H) |
| Polyamide PA 66 | 1,5 à 0,08 | 0,001 à 1,5 | 0,5 | 5 à 19 | G (H) |
| PTFE (téflon) | 0,2 à 0,04 | 0,001 à 2,0 | 0,6 | 4 à 25 | G (H) |
| PTFE chargé | 2,0 à 0,5 | 0,001 à 2,0 | 1,0 | 4 à 25 | G (H) |
| Composites | | | | | |
| Glacier DU | 120 à < 1 | 0,001 à 2,0 | 1,75 | 3 à 20 | S (G) |
| Glacier DX | 140 à 5 | 0,001 à 2,0 | 0,3 à 1,0 | 4 à 20 | A + G |
| Permaglide P1x | 250 à < 1 | 0,001 à 2,0 | 1,8 | 3 à 25 | S (G) |
| Permaglide P2x | 250 à < 1 | 0,001 à 3,0 | 0,5 à 1,5 | 3 à 20 | A + G |
| Glycodur F | 100 à 0,1 | 0,001 à 2,0 | 1,0 à 2,0 | 5 à 25 | S + G |
| Glycodur A | 100 à 0,1 | 0,001 à 2,0 | 1,0 à 2,0 | 5 à 25 | A + G |
| Symboles pour le lubrifiant : | | | | | |
| G graisse H huile S sec donc sans lubrifiant | | | | | |
| A surface avec alvéoles A + G alvéoles et graisse | | | | | |
| (à) lubrifiant complémentaire | | | | | |

Tableau II.1: Propriétés mécaniques des matériaux pour paliers hydrodynamiques.[10]

Chapitre III : Dégradations des paliers à coussinet.

Une dégradation d'un procédé caractérise le processus qui lui amène à un état défaillant du procédé, aussi une dégradation représente une perte de performances d'une des fonctions assurées par un équipement. Si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt, défini dans les spécifications fonctionnelles de cet équipement, il n'y a plus dégradation mais défaillance. [11]

Dans ce chapitre nous avons jugé utile de présenter les symptômes de dégradation des paliers à coussinet à leur causes.

1. Les symptômes de la dégradation des coussinets:

Il y a plusieurs signes qui indiquent que le palier à coussinet se dégrade, parmi les symptômes de la détérioration d'un coussinet on retient :

- L'élévation de température,
- Les vibrations,
- Le fouettement de l'arbre.

1.1.L'élévation de température :

En régime établi l'élévation de température peut avoir pour origine :

- La variation de température de l'huile à l'entrée du coussinet (problème de réfrigération),
- La réduction du débit d'huile : anomalie sur la pompe à huile, la soupape de réglage de pression d'huile ou éventuellement le colmatage des filtres,
- La modification de la position relative coussinet-rotor : surcharge locale (l'élévation de température d'un point est généralement suivie de la baisse du point voisin),
- Un entrainement de métal (pointes de température) : l'entrainement de métal est surtout à craindre lors de la modification de régime de lubrification par exemple au cours du démarrage ou de l'arrêt de la machine,
- La détérioration de la portée du coussinet et de la soie de l'arbre par le passage d'impuretés contenues dans l'huile. La propreté du circuit d'huile est absolument indispensable pour conserver une machine en bon état de marche pour cela on doit prévoir: lessivage, décapage des tuyauteries après toutes modifications, nettoyage soigné des paliers et cuve à huile après toutes interventions. [12]

1.2. Les vibrations :

- Si elles ont pour origine le déséquilibre du rotor ,peuvent occasionner des cassures du métal antifriction. [12]
- Si c'est le coussinet lui-même ou le dispositif de lubrification qui est en cause ,la fréquence sera alors sensiblement la moitié de la fréquence de rotation de l'arbre.

1.3. Le fouettement de l'arbre:

L'arbre peut vibrer ou basculer, Il peut provenir

- De la charge spécifique trop faible (augmentation par réduction de la portée : usinage d'un rainure circulaire) l'influence de la modification du couple à l'ouverture d'une soupape pour un rotor de turbine relativement léger entraine une instabilité à certaines charges (modification de l'ordre d'ouverture des soupapes lorsque c'est possible),
- Du jeu radial au coussinet trop important,
- Du jeu du coussinet dans son logement,
- De la réduction de la dépouille (usure de coussinet par la marche prolongée sur vireur ,sans soulèvement) l'arbre a tendance à grimper,
- D'un anomalie sur le circuit de lubrification : pompe à huile ,viscosité de huile. [12]

2. Les dégradation des paliers: causes et remedes :

Il y a plusieurs anomalies qui peuvent être à l'origine des symptômes sus mentionnés, à ce sujet on peut relever les anomalies suivantes :

2.1. Usure par friction mixte :

L'usure est une perte progressive de matière à la surface d'un corps solide, due à des causes mécaniques, c'est-à-dire au contact et au mouvement relatif d'un corps antagoniste solide, liquide ou gazeux. Dans le cas des coquilles de coussinet, l'usure est due au contact métallique consécutif à la friction mixte entre le coussinet et le tourillon.

Ceci est le cas, par exemple, à chaque démarrage et arrêt d'un moteur. Entre l'arrêt et la vitesse de décrochage de l'arbre, les coussinets utilisés traversent la plage de friction mixte. Dans cette plage, la capacité de charge du film de lubrifiant ne suffit pas toujours pour séparer complètement les partenaires de glissement. Les matériaux résistants à l'usure jouent par conséquent un rôle important dans le cas des véhicules avec Start/stop automatique. Aux faibles nombres de tours et si la contrainte est importante, il est également possible que la friction liquide ne soit pas atteinte et que le coussinet s'use. Des écarts de géométrie

consécutifs à des erreurs de montage ou des déformations des manetons et du passage de coussinets peuvent également être responsables d'une usure.

Au cours des premières heures de service d'un coussinet, les partenaires de glissement s'adaptent entre eux. Les pics de rugosité et le profil de rugosité s'aplanissent. Cette usure de rodage d'adaptation est tout à fait souhaitable et ne constitue pas un mauvais fonctionnement du coussinet. Si la friction mixte s'intensifie, l'usure de rodage d'adaptation normale se transforme en érosion puis en grippage et la panne devient totale. [13]

2.1.1. Érosion et grippage :

Ce sont deux phénomènes qui contribuent à la dégradation des paliers à coussinets :

Description de l'érosion :

- Traces de friction mixte brillantes et lisses, surtout dans la zone de charge principale,
- Décalages de la couche de roulement ou de la couche de glissement jusque dans la zone de dégagement, généralement en forme de langue dans le sens de rotation,
- Formation de stries.

Description du grippage :

- Zones d'arrachage de matériau,
- Forte formation de stries et déformation,
- Dégagement ainsi que rugosité et fragmentation Baisse de la cote d'écartement visible à l'œil nu en comparaison avec les coquilles de coussinet voisines intactes,
- Caractéristiques de surchauffe : des fusions du matériau d'appui et des décolorations sont par exemple fréquentes en cas de grippages.

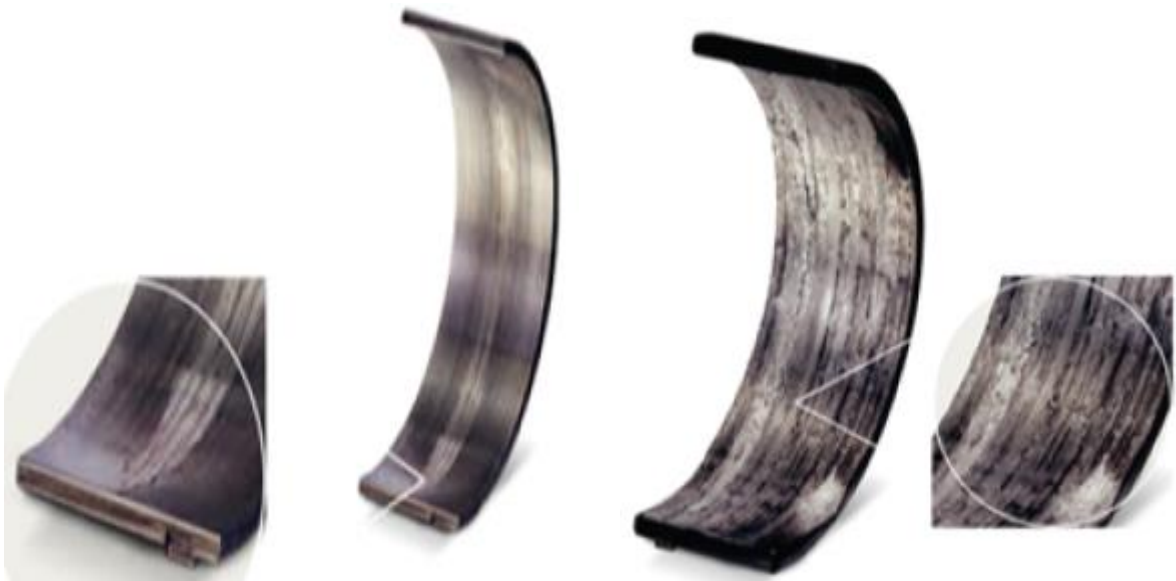


Figure III.16: L'érosion et du grippage sur un coussinet. [13]

Causes possibles :

- Orifices d'huile pas dégagés : la cause peut en être un montage incorrect des coquilles de coussinet ou une obstruction des orifices d'huile, ce qui est souvent le cas avec les biocarburants,
- Interstice de lubrification trop étroit, empêchant un film de lubrifiant solide de se former – cause : écarts de forme et de géométrie de l'arbre ou du maneton ou flexion du vilebrequin,
- Interstice de lubrification trop grand : la pression hydrodynamique nécessaire à la formation d'un film de lubrification solide n'est pas atteinte,
- Niveau d'huile ou pression d'huile trop bas,
- Surcharge des coussinets : contrainte supérieure à celle prévue – causes,
- Action de particules : des particules pénètrent dans l'interstice du coussinet et provoquent des érosions sur le maneton et le coussinet. En cas d'incorporation ou de formation de stries, les bords se relèvent – conséquence : forte augmentation de la friction mixte.

Remèdes :

Les érosions peuvent évoluer en grippages des coussinets. Il est donc important de remplacer les coussinets et d'éliminer la cause :

- Vérifier si tous les orifices d'huile sont dégagés et s'il n'y a pas d'obstruction,
- Contrôler le jeu de coussinet effectif : s'il ne se situe pas dans les tolérances, des erreurs de forme et de géométrie sont fréquemment en cause,
- Vérifier si le filtre à huile est en état de marche et respecter toujours les instructions du constructeur lors du changement du filtre à huile et de l'huile,
- Contrôler le niveau d'huile et la pression d'huile, les rectifier si nécessaire,
- Vérifier si la pompe à huile est en état de marche,
- Rechercher les fuites éventuelles sur les conduites d'huile,
- Vérifier la contrainte exercée sur les différents coussinets,
- Examiner l'ensemble du jeu de coussinets à la recherche d'incorporations de particules ou de rayures : le cas échéant, des particules ont possiblement entraîné la formation d'érosions.

2.2. Dommage dus à des particules :

Lorsque des particules étrangères pénètrent dans l'interstice de lubrification entre le coussinet et le tourillon, le danger de dommage du coussinet est important. Compte tenu des très faibles épaisseurs du film de lubrification, des particules même de petite taille peuvent nuire au fonctionnement et provoquer une friction mixte. Elles peuvent être incorporées dans la couche de glissement ou de roulement et être ainsi rendues « inoffensives ». Les bords alors soulevés sont aplanis par le contact de l'arbre. Les particules plus épaisses que la couche de glissement ou de roulement ne peuvent pas être entièrement incorporées. La partie qui dépasse occasionne une usure du tourillon en forme de stries. Les stries importantes réduisent la durée de vie prévue et peuvent favoriser les grippages du coussinet. [13]

Des particules peuvent entrer dans le bloc-moteur et se déposer dès la fabrication ou lors de la rectification d'un moteur. Ceci peut se produire par exemple lors du sablage ou du grenailage d'un bloc-moteur. Mais des particules de crasse peuvent également être « produites » durant le fonctionnement (par exemple de la suie ou de la calamine). [13]

Un entretien insuffisant du système de lubrification ou des facteurs externes extrêmes favorise également l'apport de crasse dans le circuit de lubrifiant. Des coussinets voisins endommagés ou d'autres composants moteur endommagés peuvent eux aussi faire entrer des particules dans le circuit d'huile. [13]

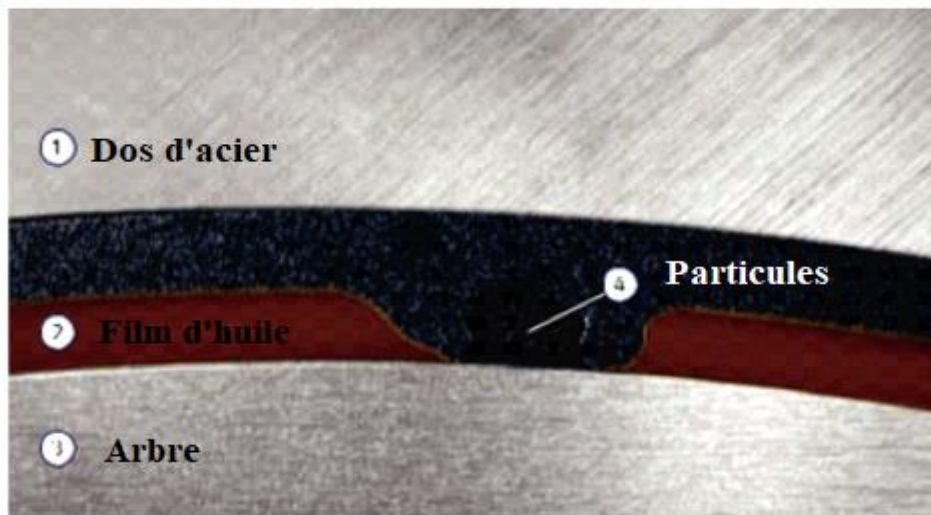


Figure III.17: Phénomène de dommage dus. [13]

Causes possibles :

- Manque de propreté lors du montage : de la crasse peut entrer dans le bloc-moteur en cas d'inattention ou de nettoyage insuffisant des composants de moteur lors du montage,

- Les résidus tels que les copeaux métalliques ou la limaille restée en place au moment de la fabrication ou d'une rectification peuvent former dans le bloc-moteur des dépôts qui se détachent en cours de fonctionnement – ces dépôts proviennent souvent de composants comme le radiateur d'huile, insuffisamment nettoyés lors d'une rectification du moteur,
- Dommages sur les joints au niveau du moteur : si un joint est surchargé ou détérioré lors du montage, il ne remplit plus sa fonction et peut laisser passer des particules,
- Mauvais entretien du système de lubrification : le dépassement des intervalles d'entretien ou les filtres à huile bouchés peuvent entraîner un encrassement de l'huile,
- Cavitation : des particules sont arrachées du matériau d'appui et emportées par l'huile – selon leur taille, elles peuvent entraîner la formation de stries ou de fines incorporations dans le coussinet voisin,
- Grippage : les composants moteur grippés (pistons, coquilles de coussinet) introduisent une grande quantité de particules dans le circuit de lubrifiant, particules qui peuvent endommager d'autres composants,
- Dommages par fatigue : en cas d'arrachements de matériau sur des composants moteur, le matériau arraché peut être amené dans les coussinets par l'huile et y occasionner des dommages.

Remèdes :

Il est généralement possible de continuer d'utiliser les coussinets en dépit de la formation de stries ou de particules incorporées. Toutefois, ceci dépend de l'importance du dommage. En présence, par exemple, de nombreux gros enfoncements de particules avec des traces de friction mixte déjà naissantes dues à des élévations du matériau, il est recommandé de remplacer le coussinet. Les fins enfoncements de particules ne gênent pas le fonctionnement du coussinet. Toutefois, la cause doit être recherchée dans les deux cas :

- Nettoyage de tous les composants avant le montage : il est important de rincer tous les orifices d'huile de l'arbre et du carter et de nettoyer les surfaces de siège des coussinets avant la mise en service afin d'éliminer les petits copeaux et particules issus de la fabrication ou de la rectification – les canaux d'huile des composants montés, par exemple du radiateur d'huile et du turbocompresseur, doivent eux aussi être soigneusement nettoyés,
- Contrôler le bon fonctionnement des joints,

- Changer toujours le filtre à huile et l'huile conformément aux indications du constructeur : veiller à respecter les intervalles d'entretien et utiliser toujours de l'huile et un filtre à huile de bonne qualité,
- Filtration de l'air d'aspiration : entretenir régulièrement le filtre, le remplacer si nécessaire,
- Inspecter les autres composants moteurs à la recherche de dommages tels que cavitation, fatigue ou grippage – les dommages des coussinets dus aux particules sont souvent des dommages secondaires,
- Si l'influence de particules n'est pas constatée, une analyse des coquilles de coussinet endommagées et un échantillon d'huile peuvent fournir une réponse : si des particules sont encore incorporées dans le coussinet ou présentes dans l'huile, leur composition chimique peut être déterminée –s'il s'agit par exemple de matière provenant du vilebrequin, une recherche plus détaillée des dommages peut être effectuée sur celui-ci.

2.2.1. Formation de stries :

Description :

- Cavités comparables à des traits avec des élévations du matériau sur les bords
- Élévations partiellement aplanies par l'usure, claires et brillantes
- Souvent associée à la formation de stries ou à l'incorporation de particules dans le vilebrequin ou des coussinets voisins.

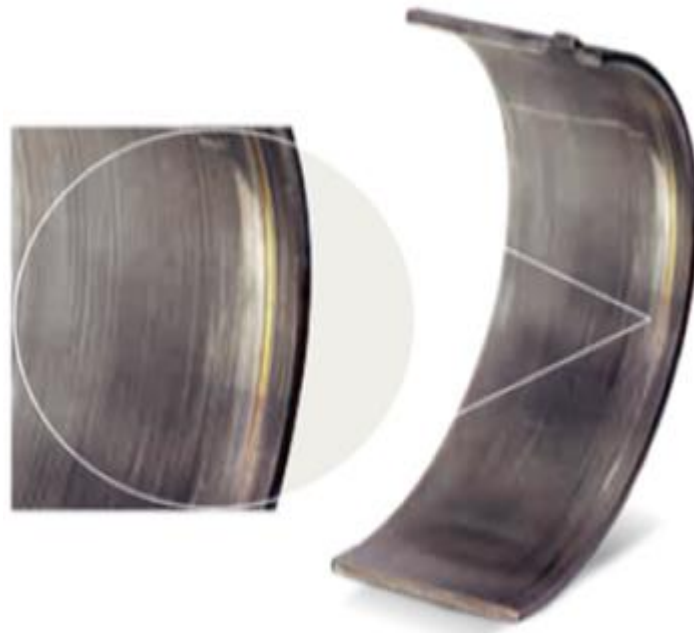


Figure III.18: Formation de stries sur un coussinet. [13]

Remèdes :

Le coussinet doit être remplacé en présence de stries avec de fortes élévations sur les bords. En revanche, les coussinets peuvent encore être utilisés en présence de stries dont les élévations sont aplanies et si une autre action de particules n'est pas à craindre. [13]

2.2.2. Incorporation :**Description :**

- Cicatrisations sur la surface,
- Enfoncements de particules (particules en partie encore présentes) entourées d'une élévation encore visible sous la forme d'un point clair brillant suite à l'usure,
- Souvent associées à la formation de stries dans le maneton et le coussinet,
- Dans les cas graves, des érosions partant des incorporations sont visibles.

Remède :

En présence de grandes incorporations de particules associées à un début d'usure du maneton et du coussinet, le coussinet doit être remplacé. Si les incorporations de particules sont fines, avec des élévations qui ont été aplanies et si une autre action de particules n'est pas à craindre, le fonctionnement du coussinet n'est pas altéré. [13]

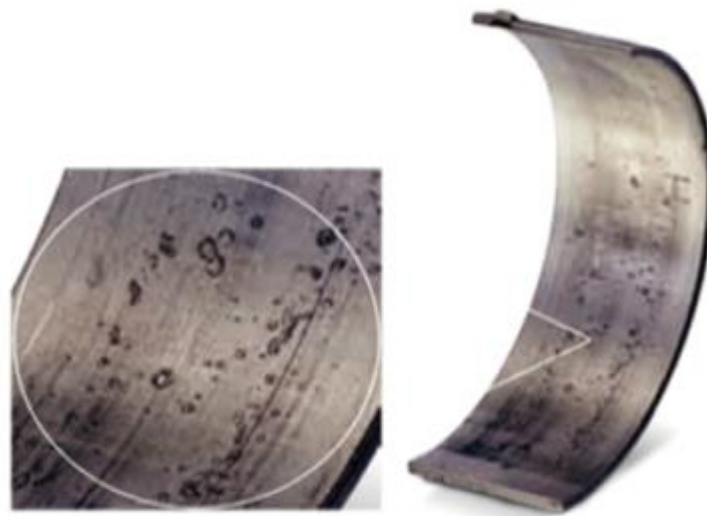


Figure III.19: Coussinet présentant une incorporation . [13]

2.2.3. Trace de migration de crasse :**Description :**

- Enfoncements isolés qui se suivent, formant des traces aux extrémités desquelles des particules peuvent encore être incorporées,
- Généralement de biais par rapport au bord,
- Partant des rainures d'huile ou des orifices de lubrification,

- Souvent associées à la formation de stries dans le maneton et à la formation de stries/l'incorporation de particules dans le coussinet.

Remèdes :

En présence d'élévations importantes le long de la trace de migration ou de signes d'érosion, le coussinet doit être remplacé. Toutefois, si les élévations sont aplanies et si une autre action des particules n'est pas craindre, les coussinets peuvent encore être utilisés. [13]



Figure III.20: Présentation de la migration de crasse dans un coussinet. [13]

2.2.4. Inclusions au dos du coussinet :**Description :**

- Divergence limitée localement de la marque de portée,
- Point d'usure claire dans la surface de glissement,
- Résidus de particules/enfoncements fréquents au dos d'acier du coussinet,
- Dans les cas graves, fortes traces de friction mixte sous la forme d'érosions et manifestations de fatigue reconnaissables dans la surface de glissement du coussinet.

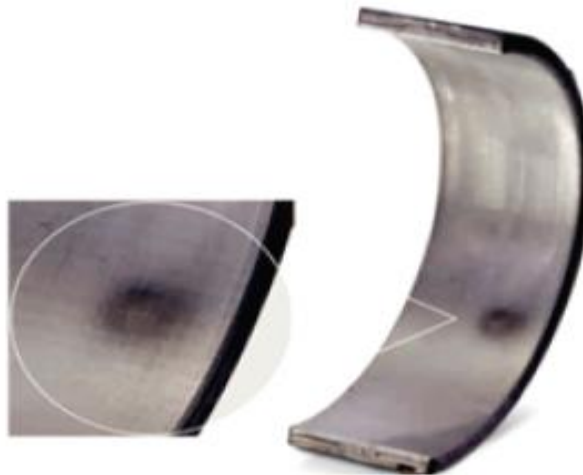


Figure III.21: Inclusions au dos du coussinet. [13]

Remèdes :

Selon la progression de l'usure de la couche de roulement, le coussinet peut encore être utilisé ou non. Lorsque des érosions ou des manifestations de fatigue telles que des fissures ou des arrachements se produisent au niveau du point de pression, le remplacement du coussinet est conseillé car une panne totale est à craindre. Le matériau arraché peut occasionner des dégâts secondaires au coussinet ou à un coussinet voisin. [13]

2.3.Érosion et cavitation :**2.3.1. Érosion :****Description :**

- Formation de stries fines dans la direction du flux d'huile,
- Rugosité et fragmentation de la couche de roulement/de la couche de glissement.

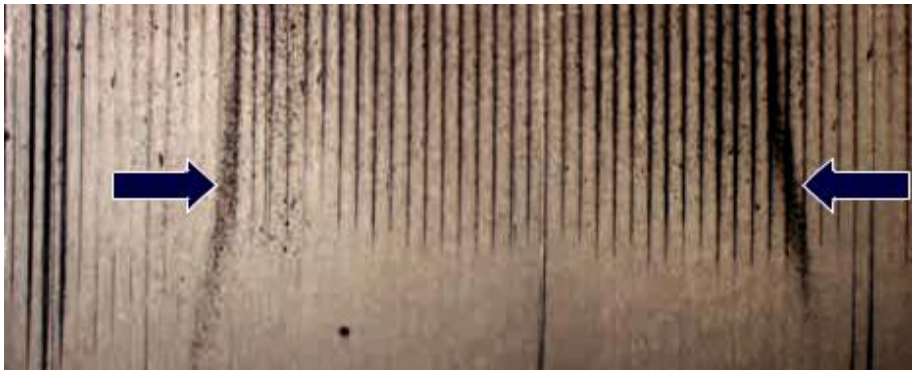


Figure III.22: Signes d'érosion sur un coussinet. [13]

Causes possibles :

- Nombres de tours élevés et faibles jeux des coussinets,
- Utilisation d'huiles motrices inappropriées avec, par exemple, des additifs manquants ou incorrects,
- Minuscules particules dans le flux d'huile : les particules peuvent provenir de différentes parties du moteur et découler, par exemple, d'une combustion incomplète ou d'une cavitation.

Remèdes :

- Maintenir la température de l'huile à une valeur basse grâce à un refroidissement suffisant,
- Effectuer toujours les changements du filtre à huile et de l'huile conformément aux indications du constructeur : veiller à respecter les intervalles d'entretien et utiliser toujours de l'huile et un filtre à huile de bonne qualité.

2.3.2. Cavitation :

Description :

Cavitation dans le dégagement : arrachement ponctuel ou en forme de champignon dans le dégagement en direction de la surface de séparation, zone nettement rugueuse et mate

Cavitation à la sortie de la rainure d'huile : arrachement en forme de champignon à la sortie de la rainure d'huile, zone rugueuse et mate

La cavitation peut également se produire ailleurs sur le coussinet, par exemple au sommet. Ces formes sont toutefois beaucoup plus difficiles à différencier de l'érosion et de la corrosion. Il n'y a généralement pas d'arrachements de matière comme avec les formes ci-dessus, mais des zones rendues légèrement rugueuses qui peuvent être dues tant à l'érosion qu'à la corrosion. [13]

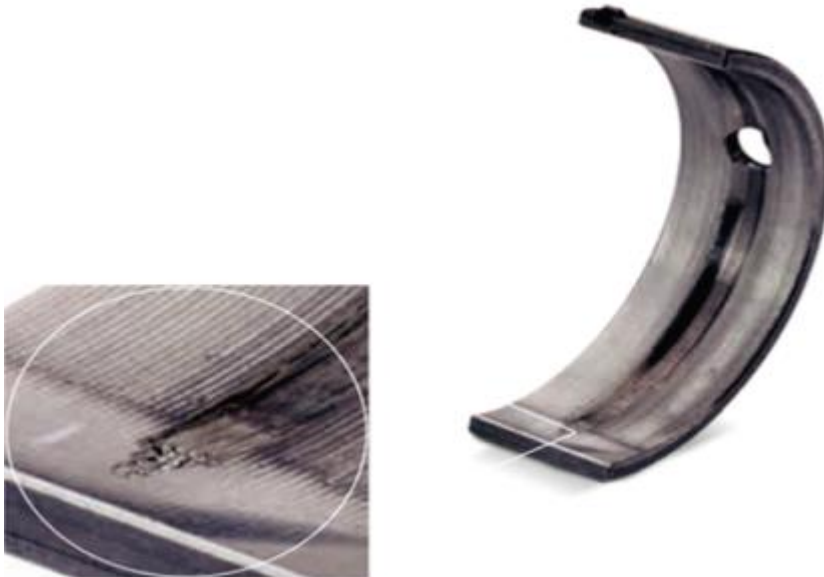


Figure III.23: Détail d'usure par cavitation. [13]

Causes possibles :

Les températures ou les éléments à bas point d'ébullition peuvent favoriser la cavitation.

- Éléments présents dans l'huile : eau, carburant, résidus d'érosion et crasse,
- Pression d'huile trop basse : pertes de pression imprévues (par exemple avec une pompe à huile défectueuse) ou pression réglée sur une valeur trop basse,
- Pression de vapeur de l'huile utilisée trop basse,
- Augmentation de température dans le coussinet (par exemple en cas de manque d'huile),
- Les huiles à basse viscosité augmentent le risque de cavitation,

- Les couches creuses/inclusions (par exemple dépôts de calamine) au dos du coussinet peuvent entraîner des vibrations de la coquille de coussinet et occasionner ainsi une cavitation,
- Cavitation par vibrations ou aspiration : l'interstice de lubrification est trop grand, d'où une baisse de la pression hydrodynamique dans l'interstice du coussinet
- Vibrations du vilebrequin : le mouvement du maneton provoque unilatéralement une baisse de la pression par effet d'aspiration,
- Vibrations de l'alésage du logement (généralement à l'œil de bielle) suite à la déformation ou la flexion – la pression diminue dans le film d'huile,
- Cavitation par écoulement : des ruptures des surfaces (orifices d'huile, rainures d'huile) et des dérivations du flux d'huile peuvent entraîner une baisse de la pression.

Remèdes :

Les coussinets présentant une cavitation ne doivent pas être remplacés. Selon l'importance de la cavitation, la durée de vie peut être réduite suite à la modification de la dynamique du coussinet. Toutefois, une panne totale n'est pas à craindre.

- Utiliser des huiles de qualité et changer régulièrement l'huile et le filtre conformément aux indications du constructeur,
- Contrôler la pression d'huile et la rectifier si nécessaire,
- Utiliser une huile ayant une pression de vapeur supérieure : cependant, l'huile doit être compatible avec tous les composants moteur, prendre conseil auprès du constructeur si nécessaire,
- Contrôler l'interstice de lubrification et réajuster éventuellement le jeu du coussinet,
- Contrôler la contrainte que subit le moteur sous l'effet des vibrations,
- Vérifier si l'huile contient du carburant dilué.

2.4.Dommages par fatigue :

Une fatigue se produit en cas de dépassement local de la résistance à l'endurance du matériau. Des premières fissures se forment, continuent de grandir sous l'effet de cisaillement et forment un réseau de fissures. Des arrachements du métal d'appui se produisent ensuite.

Le réseau de fissures et les arrachements amoindrissent la solidité du coussinet et une rupture de fatigue peut se produire sous contrainte. Le coussinet lisse n'est alors plus en état de marche et la panne est totale. Suite aux arrachements de matière, des particules sont introduites dans le système de lubrification. La formation de stries ou l'incorporation de

particules sont possibles dans la coquille de coussinet ou dans les coquilles de coussinet voisines. [13]

Des érosions et des grippages peuvent également être occasionnés au coussinet ou aux coussinets voisins.

Causes possibles :

Les manifestations de fatigue telles que les arrachements de métal d'appui sont dues à une sur-sollicitation dynamique. Différentes causes sont possibles :

- Surcharge : si le coussinet subit des forces plus importantes que celles pour lesquelles il est conçu, une fatigue du matériau se produit – les dysfonctionnements de combustion comme le cliquetis augmente la pression exercée sur le piston, donc sur le coussinet de bielle,
- Interstice de lubrification trop étroit – un film de lubrifiant solide ne peut pas se former : la pression du film de lubrification augmente à ces endroits et il se forme des pressions superficielles – ceci peut être dû à des défauts d'alignement et de forme, des défauts de géométrie ou à des erreurs de montage, l'examen des coussinets voisins peut renseigner à ce sujet,
- Mauvaise qualité de l'huile ou vieillissement de l'huile : si une huile inappropriée est utilisée ou si la qualité de l'huile est insuffisante suite au vieillissement, la formation du film de lubrifiant peut être altérée,
- Vibrations : si, en plus, le coussinet subit des contraintes alternées dues à des vibrations, le danger de fatigue du matériau augmente,
- Températures élevées : les températures élevées favorisent la fatigue du matériau d'appui en abaissant sa résistance.

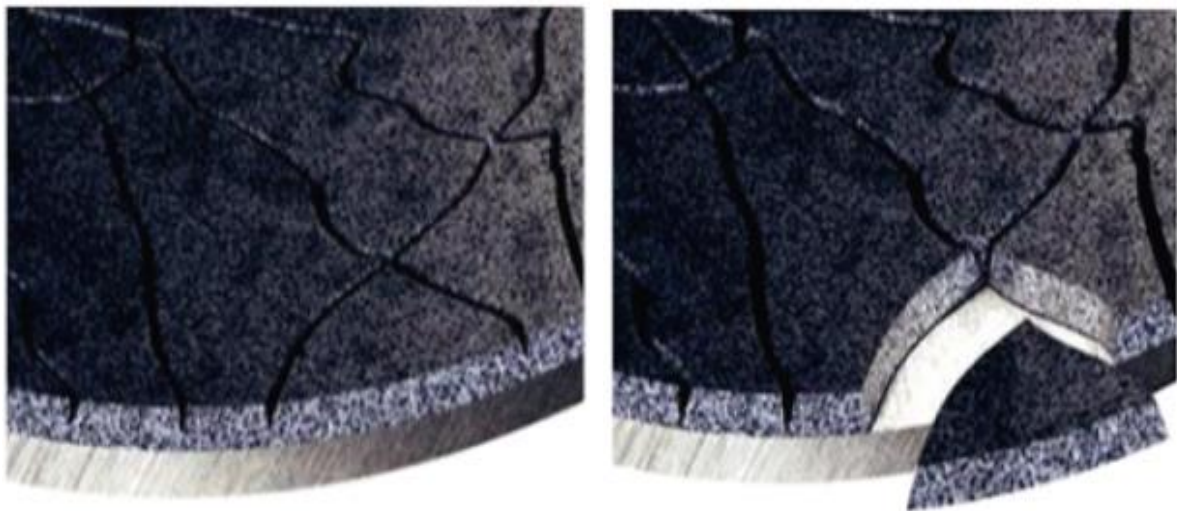


Figure III.24: Figure illustrant l'endommagement par fatigue. [13]

Remèdes :

- Contrôler la contrainte des coussinets – le cas échéant, utiliser un coussinet plus résistant à la fatigue,
- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte : cote, circularité, cylindricité, ondulation, rugosité de surface,
- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface,
- Contrôler l'alignement de l'alésage des coussinets de ligne (respecter les couples de serrage prescrits des vis, refroidir suffisamment le moteur),
- Contrôler l'angle des tiges de bielle avant le montage,
- Équilibrer le vilebrequin avant le montage,
- Utiliser uniquement l'huile préconisée par le constructeur et respecter les intervalles de vidange d'huile,
- Assurer un refroidissement suffisant du moteur.

2.5.Dommages par surchauffe :

Les dommages par surchauffe résultent de hausses de température importantes dans la coquille de coussinet, généralement associées à une forte friction mixte. C'est pourquoi les érosions ou les grippages sont toujours accompagnés de fissures de chaleur, de décolorations et de fusions. [13]

La dissipation thermique par le lubrifiant joue ici un rôle prépondérant. S'il n'y a plus de dissipation thermique, la panne devient totale. Dès les premières manifestations de la surchauffe, il se produit localement des modifications de la structure et la résistance à l'endurance du matériau baisse. Des fissures de chaleur se forment aux endroits concernés.

Causes possibles :

- Dommage secondaire dû à une hausse continue de la température suite à des érosions, des grippages ou des contacts des bords,
- Dissipation thermique insuffisante par le lubrifiant.

Remèdes :

En cas de dommage par surchauffe, il faut remplacer le coussinet et rechercher les causes. En cas de dommage secondaire, la cause du dommage primaire doit être éliminée. Si aucun autre endommagement du coussinet n'est visible, contrôler le circuit de lubrifiant et la contrainte exercée sur le coussinet. [13]

2.5.1. Fissures de chaleur :

Description :

- Réseaux de fissures visibles,
- Fusions et décolorations de la coquille de coussinet.

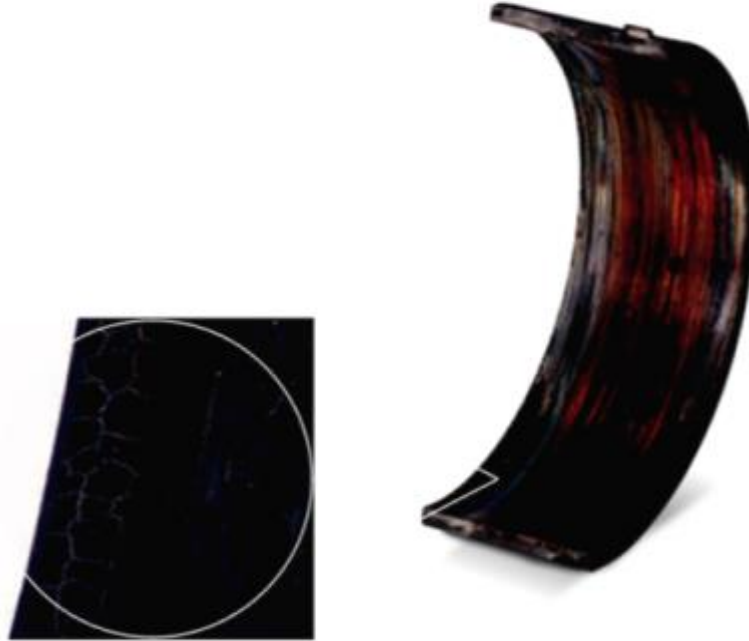


Figure III.25: Fissures de chaleur sur un coussinet. [13]

2.5.2. Fusion de la couche de roulement :

Description :

- Déplacements de matériau et bavures visibles sur la surface de glissement,
- Associées à des fissures de chaleur et des décolorations de la coquille de coussinet.

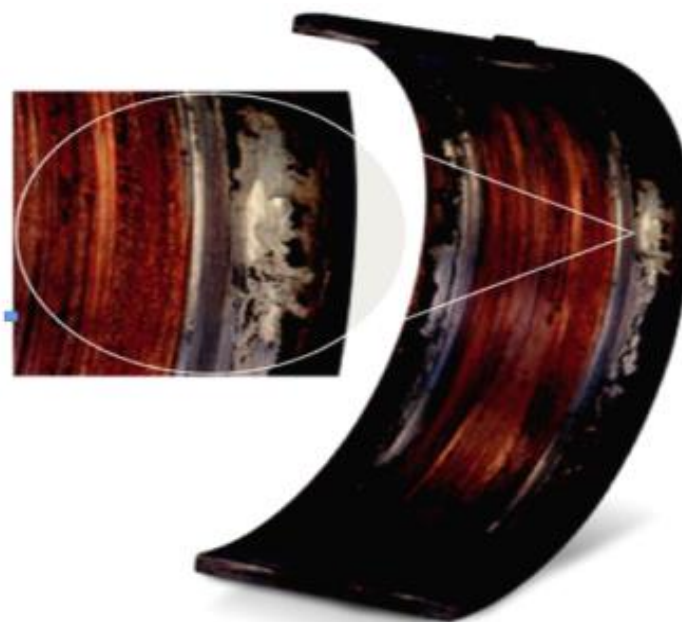


Figure III.26: Présentation de la fusion de la couche de roulement. [13]

2.5.3. Décolorations de la couche de roulement ou du dos du coussinet :**Description :**

- Décolorations bleuâtres à noires dans la couche de roulement ou sur le dos du coussinet,
- Associées à des fusions et des détachements/déplacements de matériau.

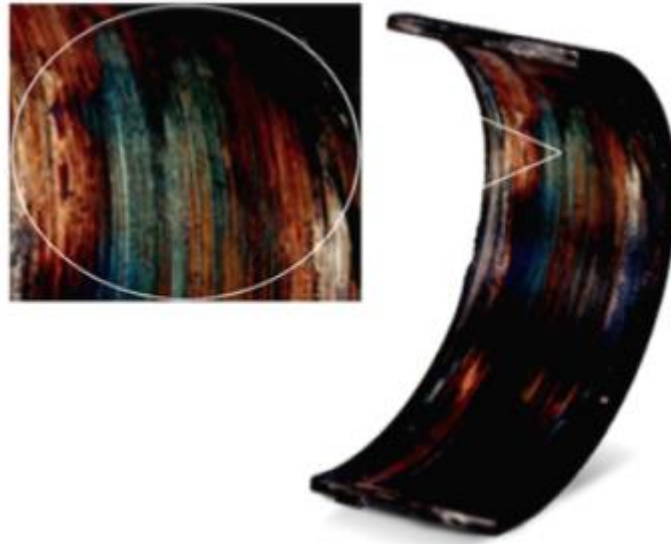


Figure III.27: Décolorations du dos du coussinet. [13]

2.6. Corrosion :**2.6.1. Corrosion de friction/rouille d'ajustage :****Description :**

- Cicatrisations à la surface du dos du coussinet ou au niveau de la surface de séparation,
- Surfaces rugueuses, mates.

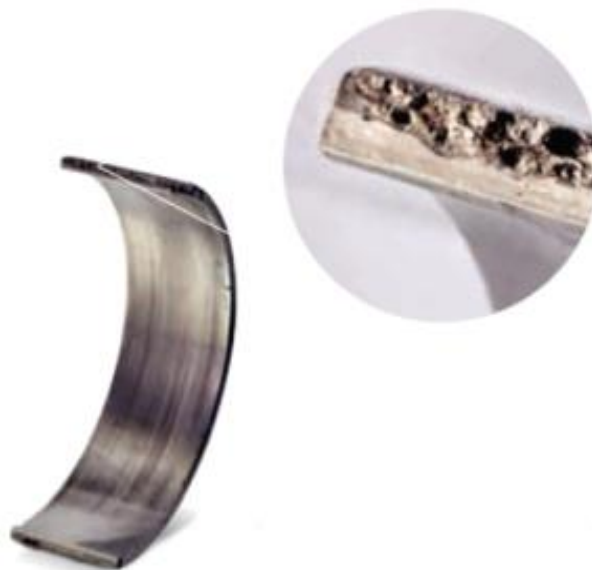


Figure III.28: Detail de la corrosion de friction. [13]

Causes possibles :

- Précontrainte insuffisante suite à un alésage de base trop grand ou à une coquille de coussinet trop petite,
- Dépassement trop faible de la coquille de coussinet : le dépassement de la coquille de coussinet garantit l'ajustement serré grâce à un ajustage serré suffisant,
- Déformation du carter : dans le cas des carters moteur en aluminium, une température extrême peut entraîner une déformation différente du carter et de la coquille de coussinet, suite à quoi l'ajustement serré du coussinet devient insuffisant,
- Flexion du vilebrequin : la flexion du vilebrequin laisse une marque de portée spéciale sur la surface de glissement du coussinet ,
- Serrage des vis trop faible,
- Oscillations ou vibrations du carter ou du vilebrequin qui entraînent des mouvements microscopiques (les oscillations et les vibrations peuvent être favorisées par des inclusions ou des couches creuses).

Remède :

- Si des signes de rouille d'ajustage sont reconnaissables, le coussinet doit être remplacé car la résistance à l'endurance peut déjà avoir diminué,
- L'alésage de logement et le diamètre extérieur de la coquille de coussinet doivent se situer dans les tolérances pour que le jeu du coussinet prescrit soit respecté,
- Dépassement : pour produire l'ajustage serré nécessaire à l'ajustement serré, la coquille de coussinet doit présenter un dépassement suffisant,
- Vérifier si l'alésage de logement et le carter sont déformés,
- Lors du montage, équilibrer le vilebrequin et contrôler la contrainte exercée sur le vilebrequin,
- Serrer les vis en respectant les couples de serrage et l'ordre de serrage prescrits par le constructeur,
- Contrôler le moteur à la recherche de vibrations et d'oscillations en fonctionnement.

2.6.2. Corrosion chimique :

Description :

- Décolorations de la surface du matériau, souvent dans la plage de charge principale,
- Surface de glissement rugueuse et poreuse.

Causes possibles :

- L'usure, la cavitation et l'érosion peuvent favoriser la corrosion en agressant et activant chimiquement la surface du matériau,
- Formation d'acides et de sels métalliques suite au vieillissement de l'huile,
- Additifs agressifs non autorisés dans l'huile,
- Produits de combustion agressifs (soufre, acide sulfhydrique),
- Contamination de l'huile avec de l'eau ou des antigels,
- Les températures de service élevées accélèrent les processus chimiques comme le vieillissement de l'huile.

Remède :

Les coussinets corrodés doivent être remplacés.

- Effectuer toujours la vidange d'huile conformément aux instructions du constructeur,
- Utiliser uniquement des huiles de qualité ne contenant pas d'additifs agressifs,
- Refroidir suffisamment le moteur.

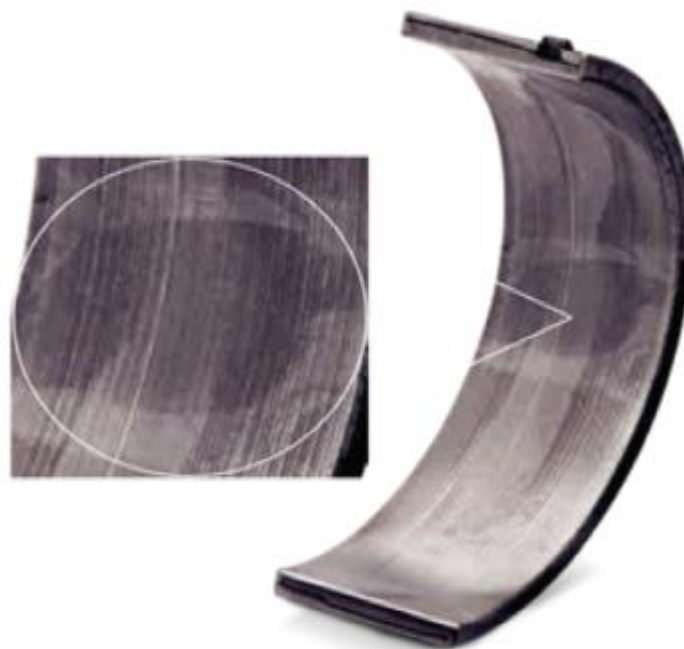


Figure III.29: Corrosion chimique repérée par le cercle. [13]

3. Conclusion :

Les paliers sont des pièces majeures dans la construction des turbines ils ont pour rôle non seulement le guidage en rotation du rotor par rapport au bâti mais ils assurent aussi le support des charges statiques et dynamiques et l'acheminement de la chaleur des parties mobiles au corps.

La transmission des charges à la partie fixe de la machine se réalise par l'intermédiaire des surfaces en contact: la surface extérieure de l'axe et la surface intérieure de l'alésage du palier. Ces surfaces du rotor et du coussinet du palier sont séparées par un film fin de lubrifiant souvent de l'huile dont le maintien dépend du mouvement relatif des éléments du guidage. Si ce film est particulièrement épais, les pièces se trouvent bien séparées et il n'y a plus aucun contact des aspérités et théoriquement l'usure peut être réduite à zéro. Mais dans le cas contraire un contact survient provoquant des dégradations locales du guide et des vibrations du rotor.

Si les contacts en régime de fonctionnement maxi se multiplient coïncidant avec un manque de lubrification ou si le fluide utilisé est de mauvaise qualité ou dans le cas de défaillance des filtres à l'huile, il faut s'attendre à des dégâts majeurs au niveau des guides. Le rôle des équipes de maintenance vient alors pour découvrir les causes de ces dysfonctionnements et palier ces défauts pour préserver le parc matériel et assurer sa durabilité en état de fonctionnement.

Chapitre IV: Maintenance d'un
palier de turbine à gaz.

1. Introduction :

Ce chapitre est consacré au côté pratique du sujet, il présente l'intervention sur un palier de turbine à gaz. Cette partie est le fruit d'une longue période de stage qui s'est déroulée avec succès au complexe de la Société de Maintenance des Equipements Industriels (MEI). Nous présentons dans cette partie une description des différentes opérations et manœuvres effectuées dans les ateliers de MEI pour assurer le démontage et la réparation par rénovation d'un palier lisse d'une turbine à gaz.

2. Présentation de la Société de Maintenance des Equipements

Industriels (MEI) :

Créée en 1997 dans l'optique de réunir les principaux corps de métier de la maintenance, développés au sein de SONELGAZ, afin de pallier aux différents problèmes de ses unités de production de l'électricité. La Société de Maintenance des Equipements Industriels (MEI / SPA) a pour mission principale la maintenance des équipements industriels et de production d'énergie.

La Société de Maintenance des Equipements Industriels MEI a certifié Depuis Octobre 2003 son SMQ selon la norme ISO 9001/2000. Pour améliorer ses performances environnementales, MEI a lancé en 2007 une démarche pour obtenir la certification d'un système de management environnemental selon le référentiel ISO 14001/2004.



3. Problématique :Présentation d'un palier à coussinet dégradé :

Un coussinet lisse a pour fonction principale d'assurer la rotation d'arbres de machines. Il ne présente aucune usure en fonctionnement normal. Cependant les nombreuses périodes de démarrage/arrêt ainsi que les vibrations peuvent générer une usure des surfaces de glissement. Cette usure entraîne des hausses de température qui finissent par être inacceptables pour le bon fonctionnement. Le coussinet doit donc être démonté contrôlé puis soit il est rebuté ou remis en état. En fonctionnement normal, la durée de vie d'un coussinet peut dans de nombreuses applications être supérieure à 10 ans voire beaucoup plus.

Le coussinet a également une fonction secondaire, il sert de « fusible » en cas d'avaries diverses sur la machine. Ces avaries ont pour effet d'entraîner une rupture du film d'huile qui a pour conséquences un échauffement immédiat du guidage. Cet échauffement entrainera la fusion de la couche de régule du coussinet afin d'absorber cet échauffement le temps d'arrêter la machine. Puisque le régule possède une température de fusion très basse (de l'ordre de 250°), les rotors en acier ne sont que peu endommagés par ces arrêts d'urgence. Par cet esprit on sacrifie ainsi un coussinet plutôt que perdre un rotor qui est une pièce bien plus onéreuse et critique à remplacer.

On présente dans la figure ci-après un palier à coussinet Ø 405 pour turbine à gaz en état de dégradation



Figure IV.30: Palier de turbine à gaz endommagée démonté pour réparation.

4. Analyse des dégâts et constat :

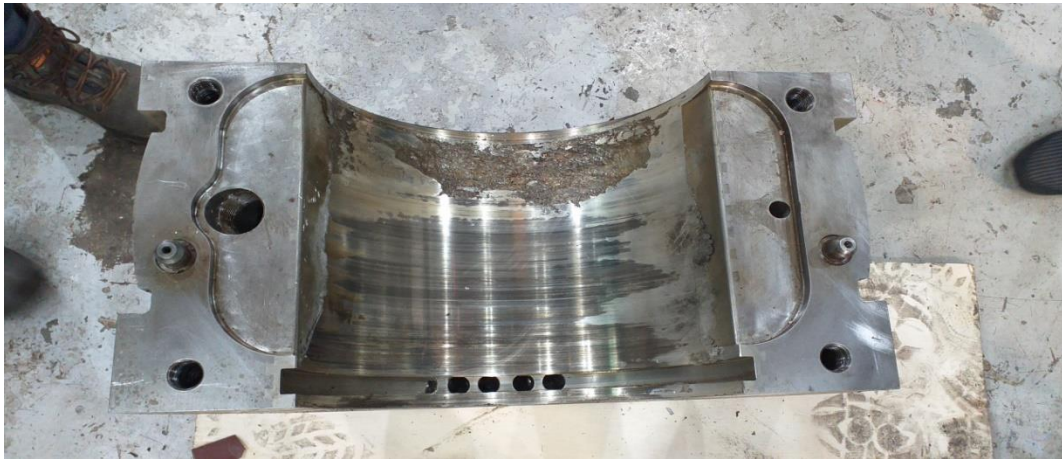


Figure IV.31: Agrandissement de la zone endommagée du coussinet.

Après avoir examiné et analysé les dégâts subis par le coussinet le constat établi est le suivant :

- Le palier démonté présente un coussinet dans un état de dégradation avancé, il présente des symptômes d'érosion et grippage par contact qui ont entraîné la fusion de la couche de régule sur les bords ce qui se traduit par un arrachage de matériau.
- présence de bavures visibles sur la surface de glissement causant des stries profondes sur la partie moyenne de guidage (zone de charge principale) on attribue cela au contact en mouvement relatif de l'arbre entraînant l'huile impropre par rapport au coussinet ce qui a dû mener à une friction entre le coussinet et le tourillon.
- Présence d'une décoloration bleuâtres à noires dans la couche de roulement qui indique que le coussinet a subi un échauffement.

5. Solutions envisagées :

L'analyse des dégâts subies, a permis d'adopter la solution logique dans ce cas en prenant en considération le cout d'un coussinet neuf et le temps alloué pour se doter d'un kit de coussinets neufs du marché et se référant à la politique de l'entreprise qui est en faveur de l'autonomie il a été décidé de remettre le coussinet en état neuf par réglage. Il s'agit d'ôter l'ancienne couche de régule et déposer une nouvelle couche.

Il faut savoir que les remises en état sont plus compliquées à réaliser comparés aux pièces neuves puisque les pièces sont déjà aux cotes finies et présentent souvent des variations de géométrie défavorables au réglage. De plus il est également indispensable de remettre dans les tolérances les diamètres extérieurs qui auront subi les déformations dues au choc thermique inhérent au réglage.

6. Présentation des méthodes possibles de rénovation :

6.1. Régulage des coussinets par colée sous pression (manuel) :

C'est la méthode de rechargement la plus simple (Figure IV.34), on n'a besoin que d'un chalumeau et des baguettes de régule et surtout une bonne main assurant l'opération.

Au cours de cette opération on utilise une flamme non oxydée d'un chalumeau oxyacétylénique



Figure IV.32: préparation des baguettes de régule.



Figure IV.33: Four de fusion pour préparer la baguette de la regule.



Figure IV.34: Operation de Réchargement manuel de coussinet.

6.2. Régulage des coussinets par coulée directe ou statique :

Ce procédé est employé, de préférence par rapport aux autres procédés, pour le réglage des coussinets en grand diamètre, pour certains coussinets comme les patins, le réglage par coulée directe est le seul possible.

Après l'assemblage du coussinet avec la coquille, une coulée la quantité de régule est réalisée. Pour éviter la formation des soufflures dans les coussinets à partir d'une certaine dimension, il est recommandé de plonger, sitôt la coulée achevée, un fil métallique que l'on chauffe au chalumeau et qu'on agite verticalement.

Dès que la solidification débute, toute agitation ou vibration doit être évitée.



Figure IV.35: La coquille qu'utilise dans l'opération de coulée.

6.3. Régulage des coussinets par colée centrifugation :

La coulée par centrifugation est un procédé de fabrication de produits cylindriques creux, un liquide est soumis à une rotation à grande vitesse autour de l'axe du moule qui le contient jusqu'à sa solidification.

La centrifugation se fait dans une coquille à axe vertical, à une vitesse de l'ordre de 600 tr/min. après avoir coulé la quantité de régule avec la pièce en rotation, la régule se colle contre la paroi interne de la coquille. Lorsque cette couche est solidifiée on refroidit rapide par de l'eau.

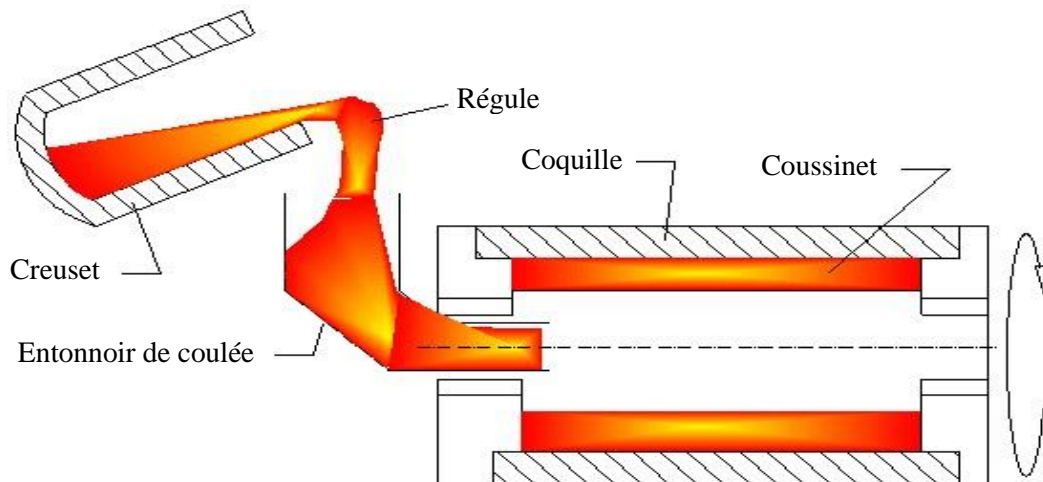


Figure IV.36: Schéma simplifié de régulage des coussinets par centrifugation.

Régule: Le métal régule est caractérisé par sa résistance au grippage. Sa structure est composée de petits cristaux durs dispersés dans un métal plus tendre. Cela en fait un composite à matrice métallique. À mesure que le roulement s'use, le métal plus mou s'érode quelque peu, ce qui crée des chemins pour le lubrifiant entre les points durs et hauts qui fournissent la surface de roulement réelle. Lorsque l'étain est utilisé comme métal plus tendre, le frottement provoque sa fusion et fait office de lubrifiant. Cela protège le roulement de l'usure en l'absence d'autres lubrifiants. [12]

La société MEI dispose de sa propre fonderie qui est équipée d'un procédé de centrifugation. Cela permet de réaliser des revêtements en métal blanc à base d'étain sur des supports en acier ou bronze. Ce procédé assure un collage parfait de la surface de frottement garantissant un prolongement de la durée de vie des coussinets.

Différents alliages de régule disponibles :

| Appellation | Désignation | Usages |
|---|--|--|
| Antifriction MRS code 202 | Alliage à base de plomb | Correspondant à une gamme très large d'utilisation. Paliers de grosses machines, faible vitesse et forte charge. |
| Antifriction OH AVIATION code 111 | Alliage à 90% d'étain, garanti sans plomb | Machines tournantes à grande vitesse et charges élevées (tête de bielle, coussinets minces, réducteurs de turbines...) |
| Antifriction STAR DIESEL 88 code 112 | Alliage à 88% d'étain, garanti sans plomb | Moteurs diesels marins , moteurs électriques, turbines, machines alternatives à grande vitesse...) |
| Antifriction STAR DIESELL code 113 | Alliage à 81% d'étain, garanti sans plomb | Moteurs diesels et électriques, paliers porteurs de turbines hydrauliques, lorsque l'épaisseur prévue de métal est supérieure à 6/10mm. |
| Antifriction STAR® T81 | Alliage à 81 % d'étain | Coussinets de paliers ou de lignes d'arbres, lorsque les conditions de fonctionnement sont moyennes ; paliers guideurs de turbines à vapeur. |
| Antifriction STAR® JA | Alliage à 81% d'étain, sans plomb | Machines tournantes à grandes vitesses et charges élevées, têtes de bielles, coussinets minces, turbines. |

Tableau IV.2: Les alliages de régule disponible. [12]

7. Opération de maintenance d'un palier lisse:

7.1. Expertise du coussinet :

- **Manutention et Ajustage :**

On procède tout d'abord au nettoyage et au ponçage des plans de joint du coussinet avec des chiffons propres ensuite à l'assemblage des deux demis coussinets par des vis ou bien des goupilles et on le dispose sur table verticale pour sa fixation à l'aide des mors.



Figure IV.37: Nettoyage et Montage du coussinet sur la table.

- **Contrôle Géométrique :**

Exécuter un contrôle géométrique pour s'assurer que la pièce est exempt de défauts et pour estimer la quantité de régule à déposer..



Figure IV.38: Contrôle géométrique du coussinet.

7.2.Dérégulage :

Procéder au dérégulage du coussinet par demi par un chauffage au four de traitement thermique à 380 °C. Le nettoyage du régule restant se fait à la brosse métallique et trichlorée.



Figure IV.39: Palier avant l'opération de dérégulage.



Figure IV.40: Palier en situation de dérégulage.



Figure IV.41: Palier après l'opération de dérégulage.

7.3.Sablage au corindon :

Le sablage est une opération de nettoyage poussé au corindon (d'oxyde d'aluminium granulaire) qui permet de préparer les surfaces pour les rendre propres et homogènes , et d'éliminer totalement les traces d'oxydation sur les coussinets.



Figure IV.42: Présentation du sable utilisé pour le sablage.

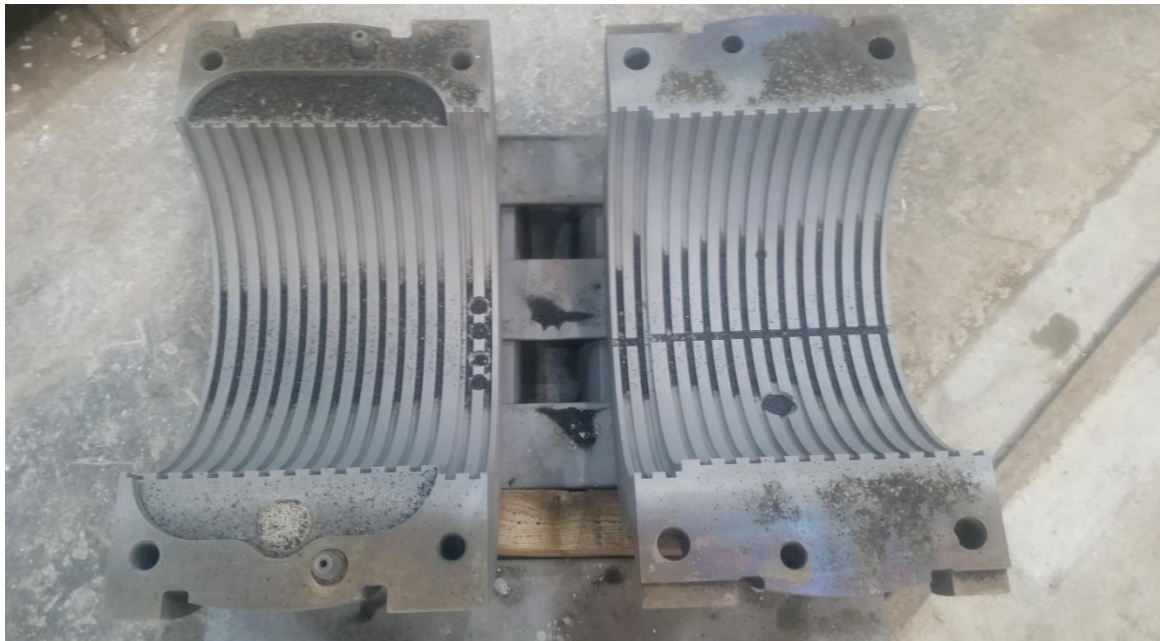


Figure IV.43: Etat du palier après sablage.

7.5.Préparation de la pièce :

Obturation des trous non débouchant au niveau de la gorge par du Gypse et au niveau plan de coupe, mettre des plaques de séparation et des joints en klingerite. En même temps on prépare sur l'autre partie un support pour faciliter la manutention du coussinet.



Figure IV.44: Obturation des trous par du Gypse.



Figure IV.45: Mise en place des plaques de klingerite.



Figure IV.46: Préparation du support du coussinet.

Klingerite: Les joints d'étanchéité, également nommés joints plats d'étanchéité ou joints de bride, composés de fibres d'amiante comprimées. klingerite a une excellente résistance chimique dans des applications fortement acide et Il a de bonnes propriétés mécaniques à températures.

7.6. Etamage et réglage :

- Etamage :

Il s'agit de déposer une couche d'étain sur une pièce métallique pour la préserver de l'oxydation, c'est une opération indispensable, nécessaire et très importante avant le réglage.



Figure IV.47: La pâte a étamer utilisé.



Figure IV.48: Le coussinet après l'étamage.

Castotine : Pâte de brasage etain plomb pour l'étamage de pièces en acier ou en cuivre.

- Régulage :

La garniture antifriction la plus utilisée pour le coulage des coussinets est le régule ou le métal antifriction composé de différents éléments tels le cuivre, le plomb, l'étain et l'antimoine. Son point de fusion est de 290°C.



Figure IV.49: Préparation d'une quantité de régule à température 350 °C.



Figure IV.50: Couler la régule avec les pièces en rotation.



Figure IV.51: Refroidissement rapide par de l'eau.

7.7. Usinage :**• Fraisage :**

- Séparer des deux demi et nettoyer le coussinet du gypse et de la klingerite par une brosse métallique (Figure IV.52).
- Surfaçer le surplus du régule sur le plan de joint pour le tangenter au corps et déboucher les trous (Figure IV.53).



Figure IV.52: Séparation des deux demi et nettoyage du coussinet.



Figure IV.53: Surfaçage du surplus du régule

• Tournage :

- Poncer les plans de joint à la pierre à huile et assembler le coussinet par des goupilles et des boulons.
- Monter le coussinet sur le tour vertical (TV) et procéder au centrage de la coaxialité et à la planéité.
- Pratiquer un alésage en ébauche du coussinet sur toute l'hauteur puis dressage du regule sur les deux faces tangentes au corps.



Figure IV.54: L'opération d'alésage.



Figure IV.55: Présentation du coussinet après usinage.

7.8. Contrôle CND (Contrôle Non Destructif) :

Le contrôle de l'adhérence et l'accrochage de régule sur le corps de coussinet se fait par plusieurs méthodes :

- **Contrôle par Ressuage :**

Le ressuage consiste à appliquer sur la zone à contrôler, un liquide d'imprégnation, le pénétrant, qui renferme des colorants pour examen en lumière du jour. Après plusieurs étapes (temps d'imprégnation, élimination de l'excès de pénétrant en surface, application d'un révélateur), le pénétrant piégé par capillarité dans les défauts « resseue » et laisse une indication visible à l'œil nu (Figure IV.57).



Figure IV.56: Le pénétrant et révélateur utilisé.



Figure IV.57: Opération de contrôle par ressuage.

- **Contrôles par ultrason :**

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore se propageant dans la pièce à contrôler. L'onde émise se réfléchit dans le fond de la pièce et sur les défauts puis revient vers le transducteur (Figure IV.58) .

L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut et d'estimer ses dimensions. Cette méthode présente une résolution spatiale élevée et la possibilité de trouver des défauts en profondeur. L'étape d'inversion est simple, du moins pour les pièces géométriquement et matériellement simples. Par contre, c'est une méthode lente car il faut faire un balayage mécanique exhaustif de la pièce.

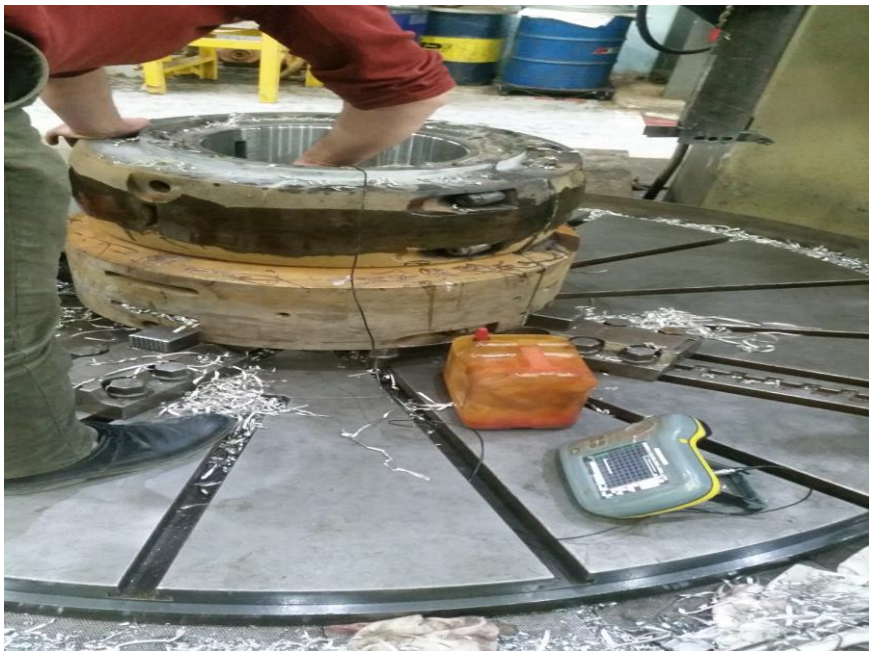


Figure IV.58: Exécution de l'opération de contrôle par ultrason sur un palier.

Conclontion générale

Dans étude, nous avons présenté les turbines à gaz et leurs différents composants, parmi eux les arbres qui reposent sur les paliers, qui jouent un role important dans le guidage en rotation de la piece maitresse de la machine qui est le rotor.

Garder une turbine en bon etat de service revient a preserver des parties communes mobiles comme les portées des arbres de rotor et des coussinets en bon etat.

Face à un palier dégradé, ona deux choix a faire, remplacer ou renover. la réparation ou rénovation revient à refaire la couche d'antifricition en régule à base d'étain ou le régule à base de plomb pour cela de nombreuses approches sont possibles, comme le rechargement à la main, ou par centrifugation ou par coulée statique. La plus réussi c'est la méthode de centrifugation à causes des avantages quelle offre :

- homogènéité Parfaite.
- Stabilité dimensionnelle.
- Structure fine.
- plus résistante à l'usure et à la corrosion.

Dans les centrales électriques à turbine à gaz, la lubrification sur l'arbre de la turbine permet le maintient d'un fonctionnement optimal de la turbine. Pour un rendement élevé, il est essentiel de garder l'huile du système combiné de lubrification et de contrôle propre, sèche et exempte de résidus d'oxydation.

Si on n'observe pas le respect des regles de maintenance, on risque d'importantes dépenses en réparation ou en remplacement de pièces, ainsi que des arrêts de la centrale.une accélération de l'usure, de faibles performances et une durée de vie plus courte sont les problèmes généralement rencontrés. Si la turbine à gaz ne fonctionne pas, l'électricité n'est pas livrée au réseau, ce qui se traduit par un risque de pénalités.

Références bibliographiques

- [1] **Earl, Logan**, Turbo machinery, basic theory and application, Marcel Dekker, Inc, 1953.
- [2] **RI, Lewis**, Turbo machinery, performance, analyses, British library, 1996.
- [3] **General Electric Service**, Installation & Service Engineering International Département, Documentation interne SONATRACH.
- [4] **NUOVO PIGNONE**, Manuel d'instruction, opération et d'entretien (volume 1), Documentation interne SONATRACH.
- [5] **A.BELHADJ**, Simulation numérique de la combustion dans une chambre de combustion d'une turbine à gaz MS 5002C, Mémoire master, encadré par : Mr. N.HEBBIR, Université de Biskra, 2014.
- [6] **B.MEHANI, Y.BELAID**, Etude de système de commande de lancement et de système de commande de vitesse d'une turbine à gaz MS5002C, Mémoire de master, encadré par : Mr.N.BOUHEMAME, Université de Ouargla, 2011.
- [7] **Zerrouni Nassim**, Etude de l'interaction fluide visqueux-structure d'un palier fluide soumis à des sollicitations temporelles, Thèse de Magister, Université de Mohamed Bougera Boumerdes, 2009.
- [8] **H.YELLE**, Tribologie Transmission de puissance, Cours 3, École Polytechnique de Montréal, 2005.
- [9] **Electrical Apparatus Service Association(EASA)**, Réparation des paliers à coussinet, fiche technique No 38, U.S.A, 2003.
- [10] **Conception et calcul des éléments de machines**, École D'ingénieurs de Fribourg (E.I.F), Suisse, juin 2006.
- [11] **Dr. Michael Kim**, Dégradation des Matériaux dans la Conception Mécanique, Documente sur site, Publié le Mars 2018.
- [12] **Construction mécanique**, le guidage sur les paliers lisses, Documentation interne SONALGAZ.
- [13] **Motor service**, Dommages sur les coussinets, Allemagne, juin 2017.