REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de Génie mécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir le

DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie mécanique

Spécialité : Génie des Matériaux

Par

➢ **Bengueddoudj Riadh**

Intitulé

Contrôle non destructif par ultrasons et étude des critères admissibles, Application au contrôle des coussinets à l'unité SAIEG de SONELGAZ – M'sila.

Soutenu le: 29/06/2025

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
Mr CHIKH Noureddine	MCA	Président	Université Mohamed El bachir El Ibrahimi B.B.A
Mme SLIMANI Wahiba	MCA	Encadreur	Université Mohamed El bachir El Ibrahimi B.B.A
Mme MECHTA Ahlem	MCB	Examinateur	Université Mohamed El bachir El Ibrahimi B.B.A
Mr BAALI Messaoud	MAA	Examinateur	Université Mohamed El bachir El Ibrahimi B.B.A

Année Universitaire 2024/2025

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah le tout-puissant de m'avoir aidé et éclairé mon chemin, et j'adresse mes remerciements :

A mon promoteur ***Dr. SLIMANI WAHIBA*** *de m'avoir apporté toutes ces compétences techniques, et collaborations et d'avoir suivi le déroulement de mon projet avec un très vif intérêt.*

Je remercie également :

Les responsable technique à l'unité de maintenance et fabrication de la pièce de rechange à la société ***SAIEG de SONELGAS à M'SILA,*** *Les ingénieurs* ***Mr Idoughi Noredine*** *et* ***Mr Dougha Oussama*** *pour leurs chaleureux accueille au sein de leurs atelier de contrôle et leurs assistance scientifique et technique.*

Je remercie les membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont été impliquées de près ou de loin qui ont contribué à mon parcours académique et professionnel.

Dédicaces

En témoignage d'amour et d'affection, je dédie ce modeste travail

Avec une grande fierté à tous ceux qui me sont chers :

**Ma très chère mère FATMA qui a œuvré pour ma réussite, de part son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.*

** Ma très chère femme qui peut être fière et trouve ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

**Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.*

**Mes chèrs fils ANESSE et YOUSSEF et toute la famille BEN GUEDDOUDJ .*

**Je voudrais également adresser mes remerciements particuliers à :*

- tous les étudiants de la classe génie mécanique option Génie des matériaux surtout.

A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie.

Liste des figures

Figure(1-1): Echelle des ondes élastiques. Les longueurs d'ondes son données pour un solide ayant une vitesse du son de 5000 m/s……...11

Figure (1-2) : Onde longitudinale…….11

Figure (1-3) : Onde transversale……...12

Figure(1-4): Type d'ondes acoustiques ……..12

Figure (1-5) : Explication de l'affichage de l'appareil à ultrason……..…….13

Figure (1-6): Composition interne d'un transducteur……..13

Figure (1-7) : Appareil de contrôle par ultrason et quelque transducteur.....14

Figure (1-8) : block d'étalon ……...15

Figure (2-1) : Coussinets……16

Figure (2-2) : Types de coussinets……..……19

Figure (2-3) : Le contrôle par ultrason des coussinets.....20

Figure (2-4) : Critère admissible pour quelque type de coussinets…….23

Figure (3-1) : Lieu d'application chez la SAIEG…….25

Figure (3-2) : Coussinets à contrôler……..…….28

Figure (3-3) : Les parties des coussinets……....29

Figure (3-4) : Le matériel de contrôle par Ressuage……..…….30

Figure(3-5) :L'application du pénétrant…….....……..30

Figure(3-6) : Application du révélateur et l'apparition des taches rouges…….....31

Figure(3-7) : Le matériel utilisé……...31

Figure (3-8) : Etalonnage du palpeur et de l'appareil à US…….32

Figure (3-9): Le balayage du coussinet par le palpeur……....33

Figure (3-10) : Echos indiquant le décollement du régule du coussinet…….33

Figure (3-11) : Le pic de défaut indique le décollement…….…….…33

Figure (3-12) : L'opération de rechargement……...34

Figure (3-13) : Contrôle par Ressuage du coussinet réparé……....35

Figure (3-14) : Contrôle CND par Ultrason d'un coussinet réparé…….……...35

Figure (3-15) :Défauts d'Adhérence d'un coussinet…….……...…39

Liste des tableaux

Tableau (3-1) : limites admissibles des défauts des coussinets ……38

Table des matières

Introduction……..7

Chapitre 1 : Technique de contrôle non destructif Par ultrason

1-1- Généralité……...10
1-1-1- Type d'ondes……..……10
1-1-1-1Onde longitudinale ou de compression……..……..10
1-1-1-2-Onde transversale ou de cisaillement……..……11
1-1-1-3 Onde surface …… ……11
1-2- Principe de contrôle par ultrasons ……...……...11
1-3- Capteur ultrasonore……..……...12
1-3-1- Composition……..……...12
1-3-2 L'étalonnage du transducteur.....14
1-4- Caractéristiques des palpeurs ……...……..……....14
1-5-Cas d'applications du contrôle par ultrason……14
1-6- Avantages du contrôle par ultrason……..……...15
1-7- Inconvénients de l'appareil de contrôle US ……..……..15
1-8- Conclusion……...15

Chapitre 2: Les coussinets

2-1-Définition……..……....17
2-2- Rôles principaux de coussinets ……..……..……....17
2-3- Types de coussinets ……......18
2-4- Dégradation des coussinets ……..……......19
2-4-1 Usure par frottement ……..……...19
2-4-2Défaut de lubrification ……....19
2-4-3 Surcharges mécaniques …… ……...19
2-4-4 Désalignement des arbres ……..……....19
2-4-5 Corrosion ……....19
2-4-6 Vibrations excessives ……...……..19
2-4-7 Températures extrêmes ……..19
2-4-8 Fatigue matérielle ……...…....20
2-5Risques issus de la dégradation des coussinets ……..……..…..20
2-5-1 Panne mécanique imprévue……..……..20

2-5-2Augmentation des vibrations……..……...20
2-5-3Chute de performance ……...…….…....20
2-5-4Risques de sécurité ……..…….....20
2-5-5 Défaillances en chaîne ……..20
2-6- Solutions préventives …….…….....21
2-7- Contrôle non destructive des coussinets par ultrasons……..……...22
2-7-1 Principe du contrôle par ultrasons ……..…22
2-7-2 Critères d'acceptabilité et normes …….…...22
2-8 - Conclusion ……...……..25

Chapitre 3: Contrôle non destructif des coussinets par Ultrasons et étude des critères admissibles.

3-1- Introduction…….....…….....27
3-2 Société Algérienne des Industries Électriques et Gazières SAIEG) …….……..27
3-3 Identification de l'entreprise SAIEG…….....28
3-3-1Dénomination……..28
3-3-2 Les activités de SAIEG de MSILA…….... 28
3-4 Etude expérimentale ……28
3-4-1Application du Control Non Destructif par Ressuage ……...29
3-4-2Application du Control Non Destructif par l'ultrason ……31
3-4-2-1 Caractéristiques de l'appareil à ultrason SONATEST……31
3-4-2-2Exécution du contrôle CND à US ……...32
3-4-5 Réparation de Coussinet de Ø 360mm …….....34
3-4-5-1- Dérégulage du coussinet……...34
3-4-5-2- Sablage du coussinet ……..34
3-4-5-3- Rechargement…….....34
3-4-6 Contrôle final par CND……..34
3-4-6-1 Contrôle CND par Ressuage ……...35
3-4-6-2 Contrôle CND par Ultrason……..35
3-4-7 Etude des critères admissible …….…36
3-4-7-1- Critères d'admissibilité au rechargement à la baguette …….……....36
3-4-7-1- 1. Épaisseur minimale résiduelle …….…….……..36
3-4-7-1-1-1 Normes sur les matériaux…….……36
3-4-7-1-1-2 Normes sur le Soudage et le Rechargement…..……...……...36
3-4-7-1-1-3 Normes sur les Essais et le Contrôle Qualité……...36
3-4-7-1-1-4 Normes sur les Coussinets et les Exigences de Réparation……37
3-4-7-2 La Norme AF ISO 4386-1 ……...…....37
3-4-7-3Le tableau suivant résume les limites admissibles des défauts des coussinets ……....39
3-4-7-4 Conclusion…….……41

Conclusion Générale…….……...42

Références

Annexes : Annexe 1 Autorisation de stage à SAIEG de SONALGAS
Annexe 2 Norme NF ISO 4386-1

Introduction

Pour toute industrie, la maintenance est une des branches indispensables. Elle permet de garantir la fiabilité de ses pièces produites, assurer la qualité et la sécurité des processus, et aussi le respect des délais et l'amélioration de la productivité globale. En rapport avec la maintenance, on se consacre dans ce projet de fin d'étude au contrôle non destructif par ultrasons des coussinets et à l'étude des critères de leur admissibilité. [1]

Le contrôle par ultrasons est l'un des méthodes de contrôle non destructif. Il se base sur l'émergence des ondes ultrasonores dans la pièce. Leurs récupération à la surface de la pièce donne des informations sur les épaisseurs, et aussi la forme et la localisation les défauts éventuels. A l'aide d'un écran adéquat et on se basant sur une bonne expérience pratique dans ce domaine on peut les classés conforme ou pas[2].

Ce procédé est appliqué largement dans le domaine de la santé publique, mais aussi dans les usines, notamment pour le contrôle de produits à haut coût de fabrication ou de ceux dont la fiabilité de fonctionnement est vraiment importante. On le retrouve dans des secteurs tels que la pétrochimie, le nucléaire, les conduites de gaz et l'aéronautique.

Les coussinets, que fait part dans la grande majorité des machines, des voitures..aux éoliennes géantes, leurs rôle est de diminuer les frottements et de maintenir les jeux entre les pièces mobiles. En une autre définition, ce sont des formes qui ont des surfaces de glissement sur lesquelles les arbres peuvent tourner et les pièces peuvent coulisser avec une usure et un suréchauffement très réduits. Sans coussinets, les mécanismes seraient rapidement abîmés, le rendement énergétique serait très mauvais et la durée de vie sera terriblement réduite [3].

Leurs contrôles et leurs maintenances sont indispensable et doivent être réalisé fréquemment, pour éviter la défaillance du système complet pour ne pas engendrer des dommages conséquents ou un arrêt prématuré ou soudain des machines.

Dans ce projet de fin d'études, nous avons mené une étude exhaustive sur le contrôle non destructif par ultrasons des coussinets (paliers lisses). Notre principal objectif est d'étudier le mode de contrôle, les critères admissibles et la réparation des coussinets au sein de la société : **SAIEG de SONELGAZ à M'SILA,** Société de maintenance des équipements Industriels.

Le manuscrit est composé de :

- Une introduction générale sur le contrôle non destructive et l'importance des coussinets, ainsi que l'objectif et le plant de notre projet de fin d'étude.
- Ensuite le premier chapitre, qui traite les bases physiques de contrôle par ultrasons, les différents types de palpeurs usuels, l'étalonnage, les caractéristiques et le mode d'application.
- Puis le deuxième chapitre qui est consacré au coussinet et leurs différentes types, leurs composition, ainsi que les critères de leurs contrôle par ultra son.
- **L**e troisième chapitre entame l'application du contrôle de qualité par ultrasons des coussinets disponibles au sein de la société **SAIEG de SONELGAZ à M'SILA,** la procédure de contrôle était encadrée par les ingénieurs de contrôle depuis la recherche et le dimensionnement des défauts, l'étude des critères d'admissibilité, jusqu'à la rectification ou bien leurs rejet, les mesures ont été réalisées après avoir étalonné le transducteur.
- L'interprétation est faite selon les constatations distinguées et enfin ces études sont terminées par une conclusion générale.

Chapitre 1

Technique de contrôle non destructif Par ultrason

Sommaire

1-1- Généralité……..……...10

1-1-1- Type d'ondes……..……10

1-1-1-1Onde longitudinale ou de compression……..……..10

1-1-1-2-Onde transversale ou de cisaillement……..……11

1-1-1-3 Onde surface …… ……11

1-2- Principe de contrôle par ultrasons ……...……...11

1-3- Capteur ultrasonore……..……...12

1-3-1- Composition……..……...12

1-3-2 L'étalonnage du transducteur.....14

1-4- Caractéristiques des palpeurs ……...……..……....14

1-5-Cas d'applications du contrôle par ultrason……14

1-6- Avantages du contrôle par ultrason……..……...15

1-7- Inconvénients de l'appareil de contrôle US ……..……..15

1-8- Conclusion……...15

1-1- Généralités :

Les ondes ultrasonores sont classées dont la fréquence est supérieure au son audible par l'être humain. Ou l'audibilité des humains en général est entre 10 Hz et 20000 Hz [4].

Les fréquences des ondes ultrasonores utilisées lors du contrôle à ultrasons ne touchent pas tout l'intervalle des ultrasons, mais seulement entre 0,5 à 12 MHz[5]

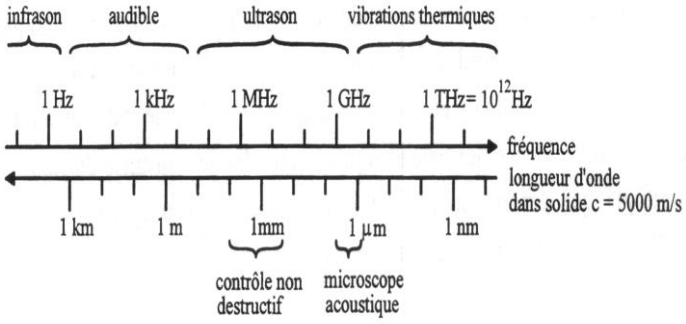


Figure (1-1): Echelle des ondes élastiques.
Les longueurs d'ondes son données pour un solide ayant une vitesse du son de 5000 m/s[1].

1-1-1- Types d'ondes : On distingue trois types d'onde :

1-1-1-1 Onde longitudinale ou de compression :

La direction des vibrations des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

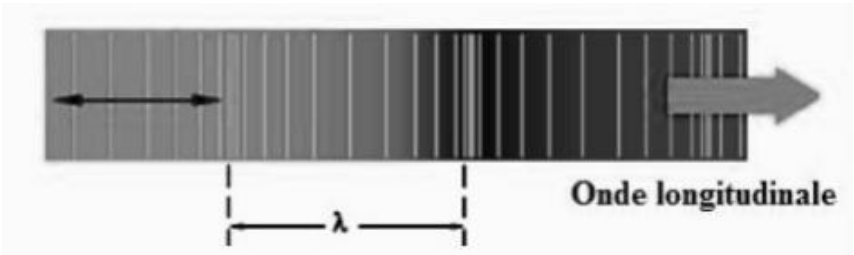


Figure (1-2) : Onde longitudinale[6].

1-1-1-2-Onde transversale ou de cisaillement : la direction des vibrations des particules est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Figure (1-3) : Onde transversale[6]

Pour le contrôle par ultrasons, on utilise normalement les ondes longitudinales en incidence normale et les ondes transversales en incidence oblique.

1-1-1-3 Onde de surface : ondes obtenues par la superposition des deux ondes longitudinale et transversale parallèle à la surface du solide, voir figure suivante:

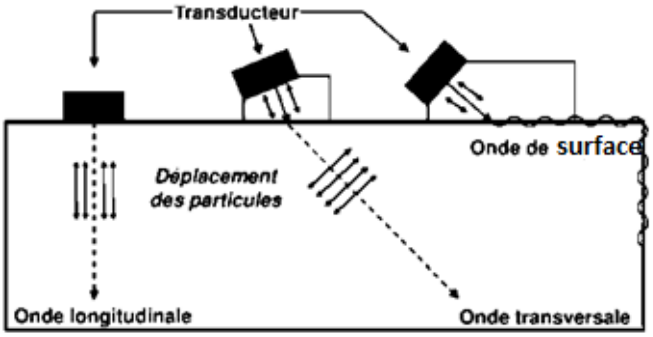
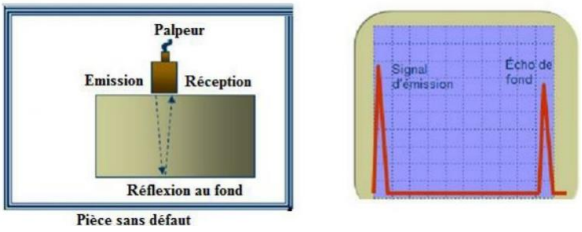


Figure (1-4): Type d'ondes acoustiques.

1-2- Principe de contrôle par ultrasons[6] :

Une onde ultrasonore est émise par un palpeur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans celui-ci. Il est nécessaire d'ajouter un couplant (gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Lorsque ces ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, elle réfléchies, les ultrasons réfléchis sont captés par un palpeur (qui peut être le même que l'émetteur),ou il y'aura une création d'un écho.



- Cas de présence de défaut.

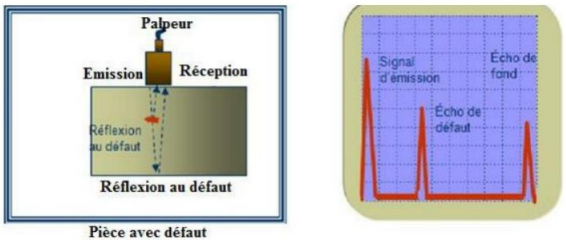


Figure (1-5) : Explication de l'affichage de l'appareil à ultrasons.

1-3- Capteur ultrasonore :

1-3-1- Composition :

C'est un élément qui convertit l'énergie électrique en un son à haute fréquence (équivalent à une vibration à haute fréquence) et vis versa, sa constitution interne est illustrée dans la figure suivante :

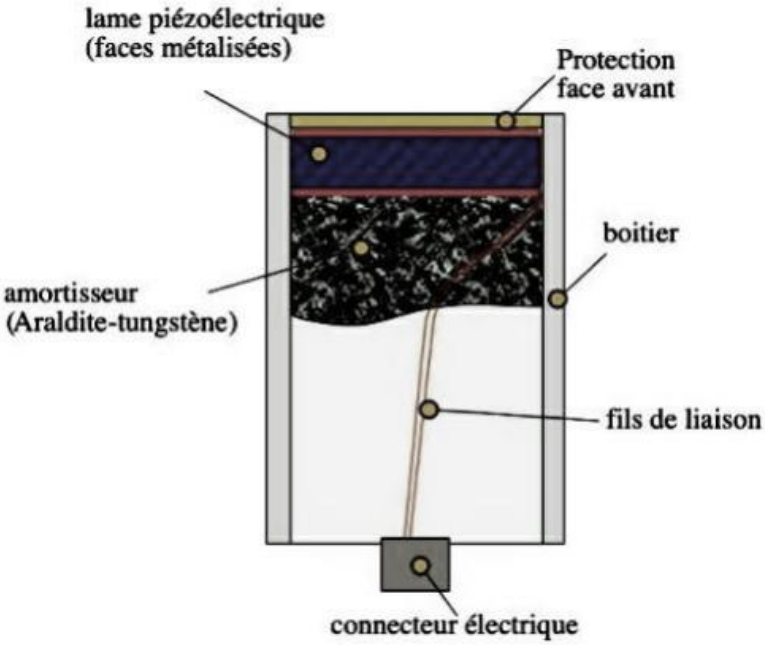


Figure (1-6): Composition interne d'un transducteur.

Le courant électrique alternatif appliqué au borne du piézoélectrique du transducteur le fait vibrer. Ces vibrations créées, se propagent dans le solide qui est en contact avec le transducteur et vont se propager dans celui-ci avec une vitesse appropriée des caractéristiques de ce solide.

En retour, une compression ou une dilatation du piézoélectrique, excitée par l'onde incidente des surfaces de la pièce ou des défauts, font créer un courant électrique entre les électrodes du piézoélectrique (effet piézoélectrique inverse). Qu'on peut l'utiliser pour localiser les défauts et détecter les épaisseurs des couches constituant le solide à inspecter.

Il existe plusieurs catégories de palpeurs ou bien transducteurs piézoélectriques conçus pour différentes manières d'utilisation comme: le contrôle par contact ou en immersion, la nature de la pièce à contrôler, la forme des défauts, etc.

Les 4 types de palpeurs les plus utilisés dans l'industrie sont les suivants.

- Transducteur droit cylindrique,
- Transducteur d'angle à sabot,
- Transducteur droit focalisé,
- Transducteur droit double avec émission et réception séparées (palpeurs SE).

Appareil de contrôle par US

Traducteurs

Figure (1-7) : Appareil de contrôle par ultrason et quelques transducteurs.

Certaines applications particulières font appel à des palpeurs spéciaux dont leur emploi est développé, leurs choix dépondent du contrôle à effectuer, des défauts à exploiter et au matériau de la pièce à contrôler.

1-3-2 L'étalonnage du transducteur:

L'étalon utilisé est un acier non allié dont la teneur en carbone est inférieure à 0.15%. L'indice de grosseur du grain ferrique G doit être supérieur ou égal à 8 et les vitesses de propagation des ondes ultrasonores longitudinales et transversales sont respectivement de 5920 et 3255 m/s[7].

L'écrouissage après usinage doit être minimal et la rugosité Ra est inférieure à 3.2 µm. Le bloc d'étalonnage V1 est le plus complet. Il existe un modèle réduit et léger appelé V2 pour les applications sur chantier.

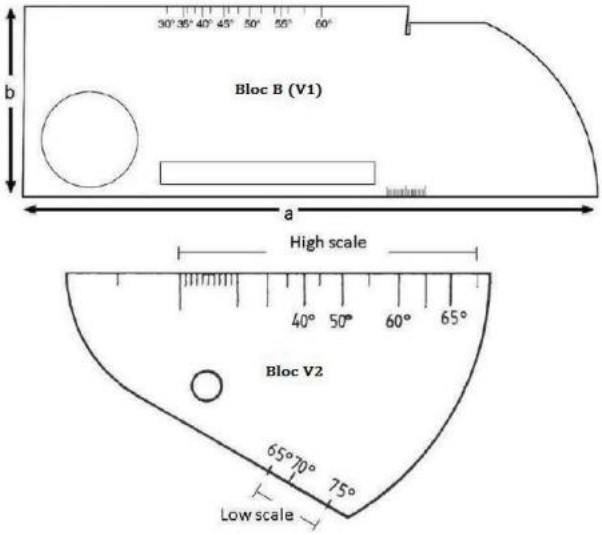


Figure (1-8) : bloc d'étalon.

1-4- Caractéristiques des palpeurs :

Les deux caractéristiques essentielles des transducteurs sont la sensibilité et son pouvoir séparateur.

- **La sensibilité** est le rapport entre l'intensité de l'écho du défaut de taille donnée et l'intensité d'émission.
- **Le pouvoir de séparation** est défini par la distance minimum entre deux défauts qui peuvent être distingués.

1-5-Cas d'applications du contrôle par ultrasons:

• Pour le contrôle de défauts de soudage : porosité, manque de fusion, défaut de pénétration, inclusions, fissures sur les bords, fissures en racines.

• Pout le contrôle de pièces moulées.

• Pour la mesure des épaisseurs.

• Pour la recherche de fissures des pièces en service.

1-6- Avantages du contrôle par ultrason:

• Utilisation étendue : on peut l'utiliser pour le contrôle des métaux, les pièces en plastique, matériaux divers.

• La détection des défauts est obtenue dans le volume de la pièce, non pas à sa surface, c-à-d à l'intérieur des matériaux.

• La précision est remarquable.

• La possibilité de la localisation et du dimensionnement des défauts.

• Mise en œuvre rapide et peut être transporté hors laboratoire de contrôle.

• Contrôle en service possible.

• Contrôle en temps réel.

1-7- Inconvénients de l'appareil de contrôle US :

• l'orientation des défauts par rapport à la direction de propagation des ondes sonores peut donner des résultats erronés donc on doit faire le contrôle dans les deux directions horizontale et verticale.

• Le milieu de couplage entre le traducteur etla pièce est indispensable pour assurer la propagation des ondes acoustique dans la pièce.

• L'interprétation de la nature des défauts et de leur dimension nécessite du personnel qualifié ayant une grande expérience.

• Non applicable pour les matériaux poreux (matériaux absorbants).

1-8- Conclusion :

L'inspection par ultrasons est une technique cruciale dans le domaine des Contrôles Non Destructifs. Cet outil, qui puisse identifier les défauts internes non perceptibles à l'œil nu, est essentiel pour garantir l'efficacité des pièces. De plus, il nous permet de réduire les coûts de maintenance et de production, en raison de son coût inférieur, par rapport aux autres techniques de contrôle.

Bibliographie

[1] L. Graini, "Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique," 2018.

[2] S. Soudani, "Contrôle non destructif par ultrasons analyse et diagnostic," Université Cheikh Larbi-Tebessi-Tébessa, 2009.

[3] E. Crawley, A. Bent, D. Warkentin, and N. Hagood, "Recent progress in intelligent material systems," *Matériaux & Techniques,* vol. 82, pp. 31-37, 1994.

[4] I. boyengo Jonathan and Y. HOUMADI, "Utilisation de l'ultrason dans les milieux agressifs pour les éléments en béton armés," 2017.

[5] A. Aite and A. Djeddi, "Etude comparative entre les propriétés élastiques obtenues par les essais de traction et d'ultrason," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2019.

[6] "Cours : Controle non destructive, Control par ultrason, Master2, Génis des Materiaux, e learning.com."

[7] "Influence de quelques facteurs métallurgiques sur la résistance à la fatigue des aciers de construction," *Rev. Met. Paris,* vol. 68, pp. 389-396, 1971.

Chapitre2

Les coussinets

Sommaire

2-1-Définition……..……....17
2-2- Rôles principaux de coussinets ……..……..……....17
2-3- Types de coussinets …….…….....18
2-4- Dégradation des coussinets …….…….....19
2-4-1 Usure par frottement ……..……...19
2-4-2Défaut de lubrification ……....19
2-4-3 Surcharges mécaniques …… ……...19
2-4-4 Désalignement des arbres …….…….....19
2-4-5 Corrosion ……....19
2-4-6 Vibrations excessives ……...……..19
2-4-7 Températures extrêmes ……..19
2-4-8 Fatigue matérielle ……...…....20
2-5Risques issus de la dégradation des coussinets …….……..…..20
2-5-1 Panne mécanique imprévue…….……..20
2-5-2Augmentation des vibrations……..……...20
2-5-3Chute de performance ……...…….…....20
2-5-4Risques de sécurité ……..…….....20
2-5-5 Défaillances en chaîne ……..20
2-6- Solutions préventives ……..…….....21
2-7- Contrôle non destructive des coussinets par ultrasons……..……...22
2-7-1 Principe du contrôle par ultrasons ……..…22
2-7-2 Critères d'acceptabilité et normes …….…...22
2-8 - Conclusion ……...……..25

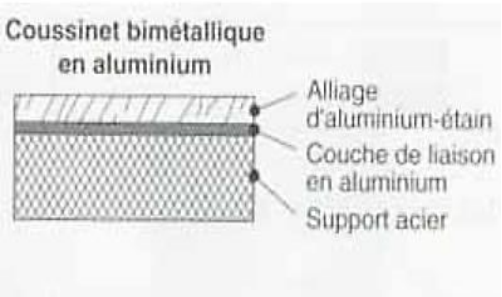
Chapitre 2: Les coussinets.

2-1 Définition:

Le coussinet est une pièce structurale ou de support développé pour diminuer l'usure, la chaleur et les vibrations, liant deux éléments en rotation relative. Il se positionne entre ces composants pour rendre le mouvement plus fluide, en vue d'assurer une extension de la longévité des pièces et un fonctionnement sans risque.

Les matériaux de fabrication des coussinets doivent résister au striage, à la corrosion, et à l'absorption des particules solides et avoir une bonne conductibilité thermique.

Les coussinets ne sont pas faits de la même matière que l'arbre. Certains sont composés soit de bronze, alliage d'aluminium ou d'autres alliages. [8]



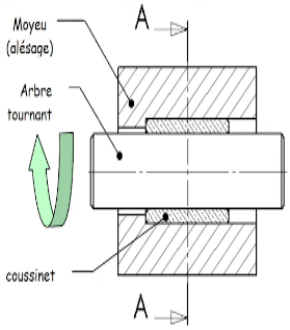


Figure (2-1) : Coussinets.

2-2 Rôles principaux de coussinets :

Le rôle d'un coussinet :

- La réduction du frottement : par sa surface de contact plus lisse, et le faible coefficient de frottement de son matériau de fabrication.
- Le support de charge : Par le transfert des contraintes entre les pièces en mouvement.
- L'atténuation de la dégradation des composants, le coussinet s'use à la place des pièces coûteuses ou difficiles à remplacer.
- L'absorption des vibrations et du bruit : il agit comme amortisseur.
- Maintenance facile : De nombreux coussinets sont autolubrifiants ou se remplacent facilement.

2-3- Types de coussinets :

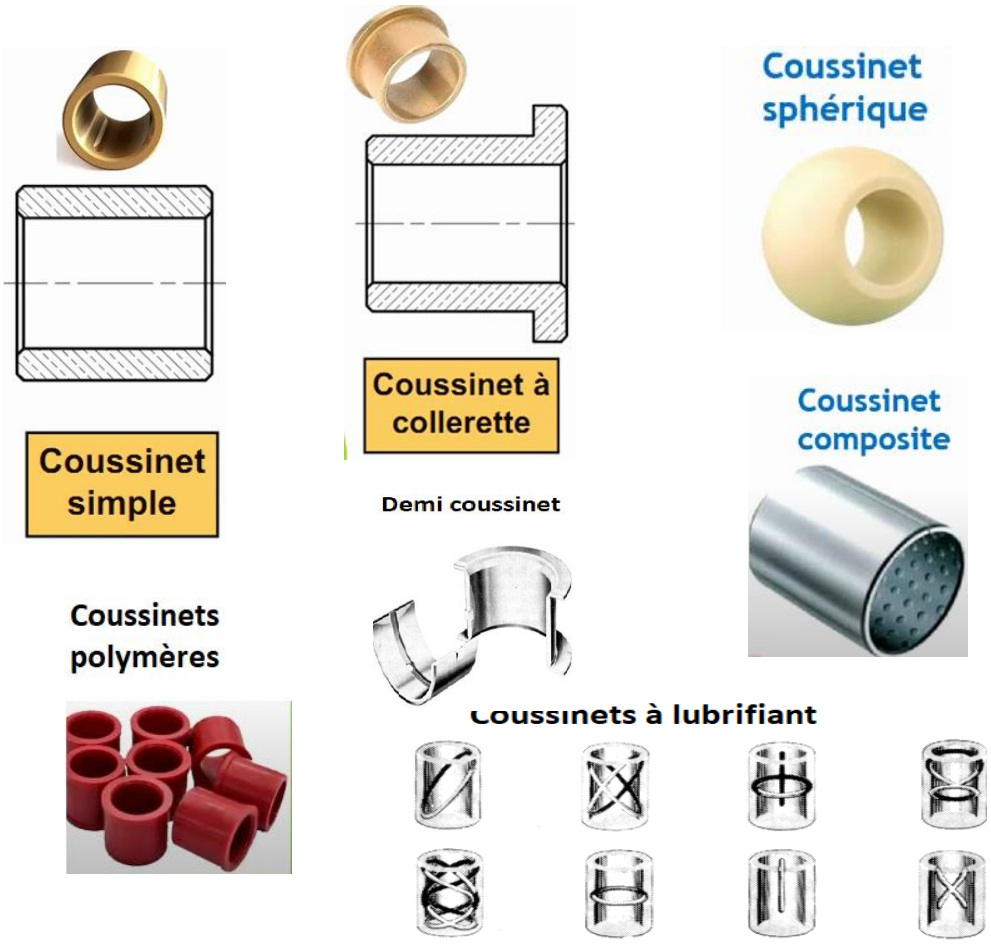


Figure (2-2) : Types de coussinets.

On trouve divers genres de coussinets, répartis selon :

- **Le matériau :** Bronze, laiton, polymères (tels que le nylon et le téflon, qui sont des plastiques techniques), céramiques, composites, etc.
- **La forme de lubrification :** Paliers lisses (ou coussinets lisses) : Ils s'appuient sur une mince couche de lubrifiant (huile ou graisse) pour diminuer le frottement.
    - ❖ **Paliers autolubrifiants :** Incorporent un lubrifiant solide (graphite, PTFE) dans leur composition ou disposent de cavités renfermant du lubrifiant.
    - ❖ **Coussinets hydrodynamiques :** L'arbre en rotation génère une pression d'huile qui le garde en flottement sans interaction directe avec le coussinet.
    - ❖ **Coussins hydrostatiques :** Une pompe externe introduit de l'huile sous pression entre les surfaces en contact.

2-4- Dégradation des coussinets :

2-4-1 Usure par frottement :

Usure par abrasion : L'abrasion ou l'usure adhésive se produit à cause du contact direct entre des surfaces métalliques en mouvement relatif. Une insuffisance ou une absence de film lubrifiant accentue cette usure [8].

2-4-2Défaut de lubrification :

Lubrifiant inapproprié, dégradé ou insuffisant, provoqué par la contamination du lubrifiant par des particules solides ou de l'eau[9].

2-4-3 Surcharges mécaniques :

Des charges dépassant les limites autorisées du matériau du coussinet peuvent entraîner une plastification localisée ou étendue du matériau[10].

2-4-4 Désalignement des arbres :

Le désalignement entraîne des efforts inhabituels et localisés, augmentant le risque d'usure irrégulière et de surchauffe[11].

2-4-5 Corrosion :

C'est une réaction chimique accélérée par l'humidité, les acides ou d'autres substances corrosives, particulièrement très importante dans les contextes marins ou industriels[12].

2-4-6 Vibrations excessives :

Fatigue provoquée par des vibrations constantes, susceptible d'engendrer un phénomène de « micromouvement » ou « usure par frottement »[13].

2-4-7 Températures extrêmes :

La chaleur excessive cause l’altération du matériau, la déformation thermique, la dégradation du lubrifiant. Par contre aussi le froid intense provoque la fragilisation des polymères ou caoutchoucs[14].

2-4-8 Fatigue matérielle :

L’accumulation de micro-dommages liés aux cycles de charge/décharge peut mener à la rupture brutale du coussinet[15].

2-5 –Risques issus de la dégradation des coussinets :

Lorsque les coussinets se dégradent, cela peut avoir des conséquences importantes sur la sécurité, la performance et la durée de vie des équipements comme :

2-5-1 Panne mécanique imprévue

Blocage brutal ou arrêt forcé de la machine qui engendre un coûts de maintenance élevés et perte de productivité[16]. On opte toujours à la maintenance prédictive pour éviter les pannes imprévues.

2-5-2 Augmentation des vibrations :

Transmission accrue des vibrations à d'autres parties du système provoqué par l'usure prématurée des roulements, arbres, etc [17]. Il faut employer des méthodes de surveillance vibratoire pour détecter les problèmes précocement.

2-5-3 Chute de performance :

Qui est dus à l'augmentation du frottement ce qui engendre unebaisse de rendement énergétique, et la perte de précision dans les mouvements mécaniques[18]

2-5-4 Risques de sécurité :

Comme les risque d'accident industriel ou routière ou bien les projections de fragments ou incendies dus aux sur échauffement[19].

2-5-5 Défaillances en chaîne :

Endommagement d'autres composants entraînés par la dégradation initiale du coussinet, c'est un cas fréquent dans les moteurs, boîtes de vitesses, turbines[20].

2-6- Solutions préventives :

- Maintenance régulière,
- Inspection visuelle, mesure des jeux, remplacement programmé,
- Contrôle de lubrification,
- Contrôle de la qualité, la quantité et fréquence du lubrifiant,
- Utilisation de bons matériaux,
- Choix adapté aux contraintes thermiques, mécaniques et chimiques,
- Surveillance vibratoire,

- Détection précoce via analyse vibratoire,
- Maintenance prédictive,
- Capteurs et analyses en temps réel.

2-7 Contrôle non destructif des coussinets par ultrasons :

Le but de l'application du contrôle non destructif (CND) par ultrasons sur les coussinets c'est de préserver ces composants et de les examiner sans les détruire. Ce procédé utilisé dans le secteur médical pour les êtres humains ce qui prouve sa sécurité son efficacité, les anomalies recherchés, les plus fréquemment courus sont l'**adhérence** du métal antifriction (le babbit ou le régule) sur la coquille du coussinet, ainsi que des **défauts internes** comme des fissures, des porosités ou des inclusions.

2-7-1 Principe du contrôle par ultrasons :

Le principe du contrôle par ultrasons est réalisé par balayage du transducteur de toute la surface intérieure du coussinet avec un pas fixe, et en même temps, nos yeux sont sur l'écran de l'appareil à ultrasons pour voir les échos. Un gel de couplage est utilisé pour assurer le couplage et faciliter la propagation des ondes acoustiques émis par l'appareil à ultrasons pour assurer une bonne transmission des ondes et éviter qu'elles ne soient pas arrêtées par une discontinuité. Il donne de courtes ondes acoustiques qui se propagent à une vitesse spécifique proportionnelle au matériau constituant du coussinet. Lorsqu'elles rencontrent une discontinuité (un changement de milieu), une partie de l'onde est réfléchie, comme la paroi arrière du coussinet, et aussi des **défauts internes** (décollement entre le régule et la coquille, fissures, inclusions d'air, etc.).

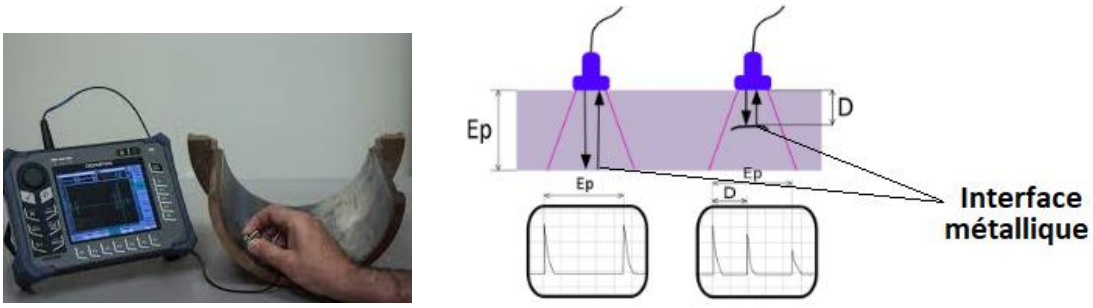


Figure (2-3) : Le contrôle par ultrasons des coussinets.

Les ondes reçues sont convertis en une image ou un graphique sur l'écran de l'appareil à ultrason, permettant de définir les défauts, et l'épaisseur du métal antifriction.

2-7-2 Critères d'acceptabilité et normes:

Pour faire une évaluation sure et scientifique de notre contrôle non destructif des coussinets par ultrasons, il est important de se référer à des **normes spécifiques** qui définissent les critères d'acceptabilité des défauts (taille maximale des décollements, profondeur des fissures, etc.). Ces normes peuvent être modifiées en fonction des conditions de contrôle et du type de coussinet, et aussi en dépendance des exigences du fabricant ou de l'industrie, comme les normes ISO et ASNT. Une bonne adhérence du régule se traduit par des signaux ultrasonores spécifiques, tandis qu'un décollement générera des réflexions multiples.

	Coussinets bronze-graphite fin	Coussinets métal	Coussinets composite PTFE acier	Coussinets composite PTFE bronze	Coussinets composite POM	Coussinets bronze-acier roulé	Coussinets bronze massif	Coussinets avec lubrification
Plage de température (°C)	-10 / +90	-10 / +90	-50 / +300	-200 / +280	-200 / +280	-40 / +130	-100 / +200	-40 / +250	+300
Coefficient de frottement	0,05 - 0,10	0,05 - 0,10	0,15 - 0,25	0,03 - 0,25	0,03 - 0,25	0,03 - 0,25	0,05 - 0,20	0,008 - 0,25	0,06 - 0,15	0,03 - 0,16
Charge dynamique N / mm²	10	9,5	2,5	140	140	140	140	40	35	100
Charge statique N / mm²	50	50	50	250	140	250	250	120	45	250
Vitesse autorisée m / s	5	5	0,25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5	0,25
Tolérance du logement	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7
Rugosité de l'arbre (Ra)	< 0,8	< 0,8	< 0,8	Ra ≤ 0,4	Ra ≤ 0,4	Ra ≤ 0,4	≤ 0,4	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0
Dureté de l'arbre (HB)	≥ 220	≥ 220	≥ 220	> 200	> 200	> 200	> 200	> 200	> 165	> 200
Dureté de l'arbre (HB) pour manœuvrées espacées							> 350	> 350	> 350	> 350
PV N / mm² x m / s	1,6	1,6	10,4	k = 3,5 / c = 1,8	k = 3,5 / c = 1,8	k = 3,5 / c = 1,8	2,8	2,8	2,8	3,34
Résistance à la compression N / mm²	100	150		350	300	350	380	250	250	480
Types										

Figure (2-4) : Caractéristiques limites pour quelque type de coussinets[21].

La figure en dessus résume quelque critère à respecter pour l'utilisation de tel type de coussinet à partir des matériaux fréquemment utilisés, ces critères peuvent être définis par les fabriquant après une série de tests et une longue expérience dans ce domaine où ils peuvent imposer des normes ou des spécifications pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité du système, exemple de normes comme :

- ISO 2400-1 : Concernant les paliers lisses métalliques, incluant des recommandations sur leur inspection.
- Normes ASNT (American Society for Nondestructive Testing)
- Normes ASTM (American Society for Testing and Materials)

2-8- Conclusion :

La dégradation des coussinets est habituellement le résultat de certains facteurs, comme les contraintes mécaniques, chimiques, thermiques, et environnementales. Les problèmes liés à cela sont variés et vont à la fiabilité et à la sécurité du système. Une approche combinant maintenance préventive, surveillance conditionnelle et choix adapté des matériaux permet de limiter ces risques.

Bibliographie

[8] B. Bhushan, *Principles and applications of tribology*: John wiley & sons, 2013.

[9] R. Gohar and H. Rahnejat, *Fundamentals of tribology*: World Scientific, 2018.

[10] J. E. Shigley, L. D. Mitchell, and H. Saunders, "Mechanical engineering design," 1985.

[11] H. P. Bloch and F. K. Geitner, *Machinery component maintenance and repair*: Elsevier, 2005.

[12] P. R. Roberge, *Handbook of corrosion engineering* vol. 1128: Mcgraw-hill New York, 2000.

[13] R. B. Waterhouse, "Fretting fatigue," *International materials reviews,* vol. 37, pp. 77-98, 1992.

[14] G. W. Stachowiak, "How tribology has been helping us to advance and to survive," *Friction,* vol. 5, pp. 233-247, 2017.

[15] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamentals of machine component design*: John Wiley & Sons, 2020.

[16] J. Moubray, *Reliability-centered maintenance*: Industrial Press Inc., 2001.

[17] R. Randall, "Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications John Wiley & Sons [Google Scholar]," 2011.

[18] R. Norton, "Machine Design, An Integrated Approach," ed: Prentice Hall, 2011.

[19] G. Degan, D. Lippiello, and M. Pinzari, "Occupational health and safety management systems: comparison between BS OHSAS 18001: 2007 and Italian Decree 81/2008," *WIT Trans. Biomed. Health,* vol. 14, pp. 401-409, 2009.

[20] J. Lee, J. Ni, D. Djurdjanovic, H. Qiu, and H. Liao, "Intelligent prognostics tools and e-maintenance," *Computers in industry,* vol. 57, pp. 476-489, 2006.

[21] sityndal.wordpress.com.

Chapitre3

Contrôle non destructif des coussinets par

Ultrasons et étude des critères admissibles.

3-1- Introduction…….....…….....27
3-2 Société Algérienne des Industries Électriques et Gazières SAIEG) …….……..27
3-3 Identification de l'entreprise SAIEG…….....28
3-3-1Dénomination……..28
3-3-2 Les activités de SAIEG de MSILA…….…... 28
3-4 Etude expérimentale ……28
3-4-1Application du Control Non Destructif par Ressuage ……...29
3-4-2Application du Control Non Destructif par l'ultrason ……31
3-4-2-1 Caractéristiques de l'appareil à ultrason SONATEST……31
3-4-2-2Exécution du contrôle CND à US ……....32
3-4-5 Réparation de Coussinet de Ø 360mm …….....34
3-4-5-1- Dérégulage du coussinet……....34
3-4-5-2- Sablage du coussinet ……..34
3-4-5-3- Rechargement…….....34
3-4-6 Contrôle final par CND……..34
3-4-6-1 Contrôle CND par Ressuage ……...35
3-4-6-2 Contrôle CND par Ultrason……..35
3-4-7 Etude des critères admissible ……36
3-4-7-1- Critères d'admissibilité au rechargement à la baguette …….……....36
3-4-7-1- 1. Épaisseur minimale résiduelle …….……..36
3-4-7-1-1-1 Normes sur les matériaux…….……36
3-4-7-1-1-2 Normes sur le Soudage et le Rechargement…..……...……...36
3-4-7-1-1-3 Normes sur les Essais et le Contrôle Qualité…….……...36
3-4-7-1-1-4 Normes sur les Coussinets et les Exigences de Réparation…….37
3-4-7-2 La Norme AF ISO 4386-1 ……...…....37
3-4-7-3Le tableau suivant résume les limites admissibles des défauts des coussinets ……....39
3-4-7-4 Conclusion……41

Conclusion Générale…….……...42

Références

Annexes : Annexe 1 Autorisation de stage à SAIEG de SONALGAS

Annexe 2 Norme NF ISO 4386-1

Chapitre 3: Contrôle non destructif des coussinets par Ultrasons et étude des critères admissibles

3-1- Introduction:

L'inspection des coussinets par CND à US est très rentable et importante pour garantir la fiabilité et la sécurité des systèmes. On peut révéler plusieurs anomalies internes et, essentiellement, on peut vérifier l'adhérence ou les décollements des couches de métal antifriction et contrôler leurs épaisseurs.

L'objectif de ce projet est de faire cette application et d'examiner les critères de fabrication et de contrôle afin de déterminer si un coussinet est acceptable, nécessite une maintenance corrective, ou bien il est irrécupérable.

L'application impose un savoir faire des normes de fabrication, une bonne lecture de l'appareil de contrôle à ultrasons, des conditions de fonctionnement de paliers et des matériaux constituants.

L'application rigoureuse de contrôle garantit une détection précoce des défaillances, optimisant ainsi la durée de vie des équipements et minimisant les risques d'arrêts inattendus.

La pratique est appliquée au niveau de l'unité de maintenance et de contrôle à **SAIEG de Sonelgaz à M'Sila.**

3-2 Société Algérienne des Industries Électriques et Gazières (SAIEG) :

L'application est faite au sein de cette société, qui contient un staff technique très qualifié et un équipement de valeur et sophistiqué.

Figure (3-1) : Lieu d'application chez la SAIEG.

3-3 Identification de l'entreprise SAIEG:

3-3-1 Dénomination:

- Société algérienne des industries électriques et gazières. « S.A.D.I.E.G », Groupe SONELGAZ.
- Unité de maintenance et fabrication de la pièce de rechange. « U.M.E.F.P.R » M'SILA.
- Siège Social: Zone Industrielle Draa El hadja –M'SILA-ALGERIE.

3-3-2 Les activités de SAIEG de MSILA:

- Fabrication et maintenance des pièces de rechange de différents équipements industriels.
- Chaudronnerie.
- Equipements de turbocompresseur de générateur électrique.
- Equipements de SONATRACH.
- Equipement de travaux publics.
- Equipements pour stations de traitement d'eau.

3-4 Etude expérimentale :

Sous la direction de **Mr IDOUGHI,** responsable du département de contrôle de qualité et

Mr DOUGHA l'ingénieur assistant, j'ai assisté au contrôle et la réparation de plusieurs Coussinets, voir figure :

Figure (3-2) : Coussinets à contrôler.

Le contrôle non destructif se fait progressivement par étapes, du contrôle surfacique au contrôle volumique.

Figure (3-3) : Les parties des coussinets.

1- **Première étape : Contrôle visuel**, les coussinets sont inspectés visuellement, on doit voir l'adhérence de la couche du métal antifriction à l'œil nu.

2- **Deuxième étape : Le contrôle par Ressuage,** il est appliqué pour révéler les fissures éventuelles sur la surface intérieure du coussinet.

3-4-1 Application du Control Non Destructif par Ressuage :

Le matériel utilisé : voir Figure2.

- ✓ Les produits d'application; Pénétrant, Révélateur, Nettoyant.
- ✓ Une loupe; chiffon.

Figure (3-4) : Le matériel de contrôle par Ressuage.

- La surface intérieur du coussinet doit être nettoyée de toutes traces de matériaux étrangers solides ou liquides qui risqueraient de gêner l'entrée du pénétrant dans les discontinuités.
- Ensuite, l'application du pénétrant de couleur rouge sur toute la surface à examiner, le temps de pénétration est (15 à 20) min. voir Figure:

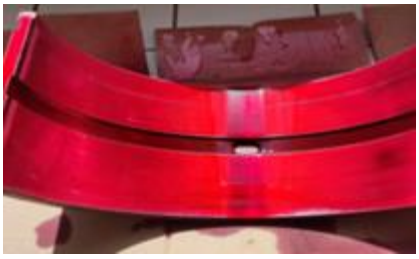


Figure (3-5) : L'application du pénétrant.

- Après, c'est l'étape d'élimination du pénétrant étalé sur la surface de la pièce (c'est une phase très délicate: il ne faut pas enlever le pénétrant dans les défauts),
- Ensuite, le nettoyage et le séchage de la surface, on applique régulièrement le révélateur de couleur blanche sur toute la surface à examiner, des taches rouges vont apparaitre à la surface dans les place de discontinuités, voir figure.

Figure (3-6) : Application du révélateur et l'apparition des taches rouges.

- Avec l'utilisation de la loupe on peut voir **des indications** sur **les plants des joints et la collerette du coussinet.**

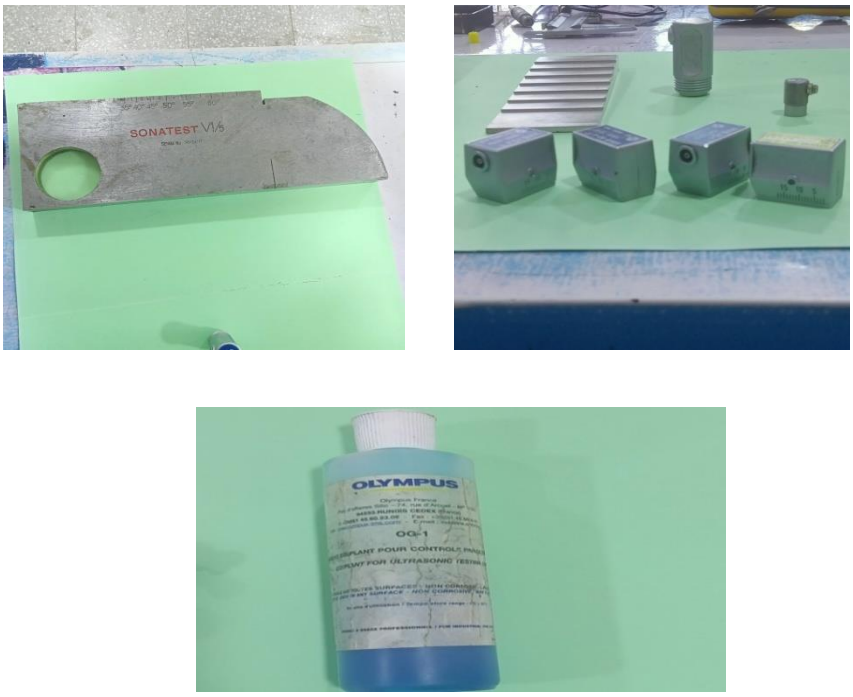
3-4-2 Application du Control Non Destructif par ultrasons :

1- Appareil à ultrasons **Sonatest;**

2- Palpeur Droit et Angle 45°et70° technique Par réflexion.

3- Blocs d'étalonnages : ISO2400 calesV1;

4- Gel de couplage: Olympus OG-1;



Figure(3-7) : Le matériel utilisé.

3-4-2-1Caractéristiques de l'appareil à ultrasons SONATEST :

- Bande Passante : analogique: 0,3 à 20 MHz a -3dB
- Capacité mémoire:100échos/2000épaisseurs ;
- Fréquence de récurrence, Réglable entre 60 et360Hz;
- Calibration automatique;

Avant l'examen de contrôle, on doit ajuster quelques informations:

- Méthode d'évaluation des indications. Etat de surface, Dimensions, Nettoyage de la surface, La plage de balayage.
- L'étalonnage de l'appareillage et palpeur.
- Choix du type de palpeur: palpeur droit, à Angle 45° et 90°, technique par réflexion (E/R).
- Choix de milieux de couplage, Olympus OG-1.

3-4-2-2 Exécution du contrôle CND à US :

a- L'étalonnage: l'étalonnage de l'appareil à US Sonatest doit être appliqué avant chaque control sans oublier le palpeur, Voir figure :

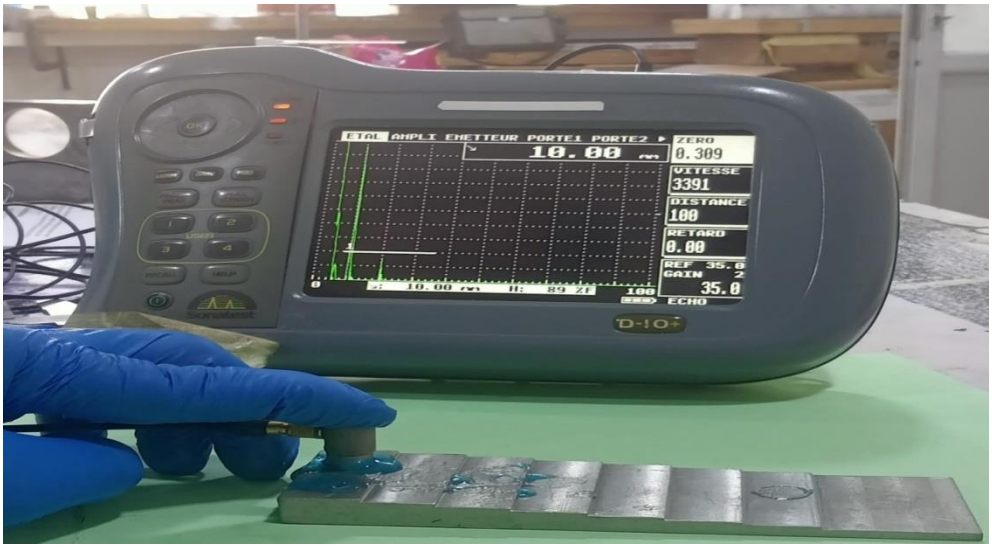


Figure (3-8) : Etalonnage du palpeur et de l'appareil à US.

Le calibrage est très important pour la fiabilité et la précision des résultats de l'examen, il doit être effectué en conformité avec les normes.

b- la Technique de l'examen :

La surface à examiner doit être exempt de rouille, des irrégularités, de matières étrangères, qui pourrait interférer avec l'examen. Le balayage doit être à 100% sur les zones à examiner conformément aux normes.

Figure (3-9): Le balayage du coussinet par le palpeur.

A travers les échos visualisés sur l'écran on peut constater :

- Des décollements du régule de la collerette du coussinet, sur une zone bien déterminée, Voir Figure:

Figure (3-10) : Echos indiquant le décollement du régule du coussinet.

- Le pic intermédiaire entre les deux pics (de la surface et du fond de la pièce) est appelé le pic de défaut (décollement), voir Figure (3-11)

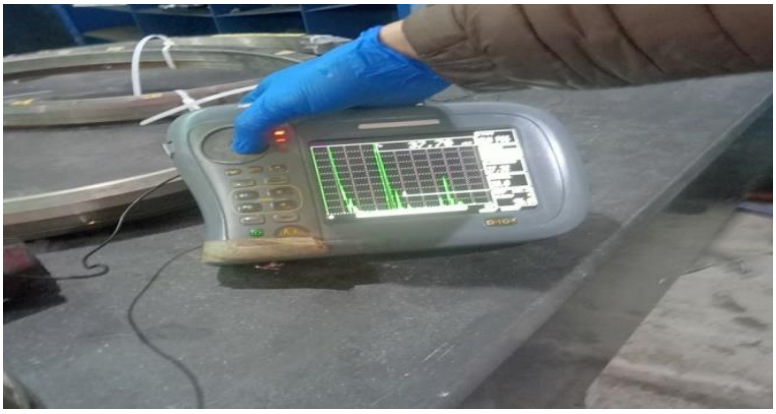


Figure (3-11) : Le pic de défaut indique le décollement.

Pour ce genre de problèmes on opte à rectifier le coussinet par l'enlèvement du régule défectueux (dérégulage) puis, à traiter la surface intérieure du coussinet, ensuite, à déposer un nouveau régule.

Durant la période de stage je n'ai pas assisté à une opération de dérégulage et régulage, malgré ça, les ingénieurs de maintenance et de contrôle, m'ont expliqué, et fourni les documents qui expliquent les étapes à suivre pour l'opération de rectification d'un coussinet de 360 mm de diamètre.

3-4-5 Réparation de Coussinet de Ø 360mm :

3-4-5-1- Dérégulage du coussinet :

Le dérégulage se fait par l'échauffement du coussinet à l'aide du chalumeau, on utilise une brosse métallique pour enlever le régule défectueux.

3-4-5-2- Sablage du coussinet :

C'est un jet à haute pression d'un abrasif pour enlever les dépôts, et créer une surface propre et légèrement rugueuse pour une meilleure adhérence du nouveau revêtement appliqué par la suite.

3-4-5-3- Rechargement:

Un arc électrique est créé entre l'électrode de rechargement et la pièce. La baguette d'apport, en métal antifriction, est ensuite introduite dans l'arc pour fondre et déposer le régule sur la surface intérieure du coussinet.

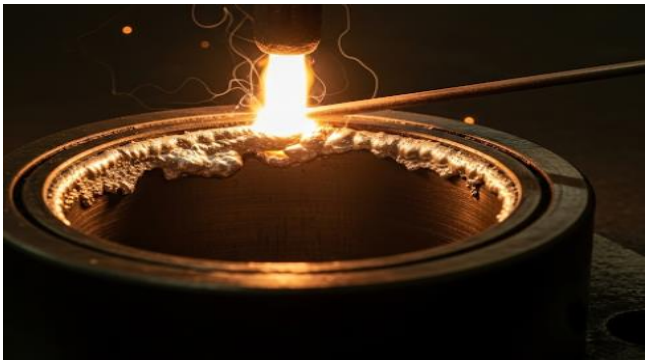


Figure (3-12) : L'opération de rechargement.

3-4-6 Contrôle final par CND:

Après le rechargement, le coussinet est contrôlé par CND, pour vérifier la qualité du dépôt de régule, notamment en ce qui concerne la conformité des dimensions et l'absence de décollements, pour assurer un fonctionnement optimal et une durée de vie prolongée.

3-4-6-1 Contrôle CND par Ressuage :

Figure (3-13) : Contrôle par Ressuage du coussinet réparé.

- **Observation :**

Le dépôt du régule sur ce coussinet est parfait, aucune indication de défaut surfacique à signaler, (Absence de taches rouges de grande dimensions).

3-4-6-2 Contrôle CND par Ultrasons :

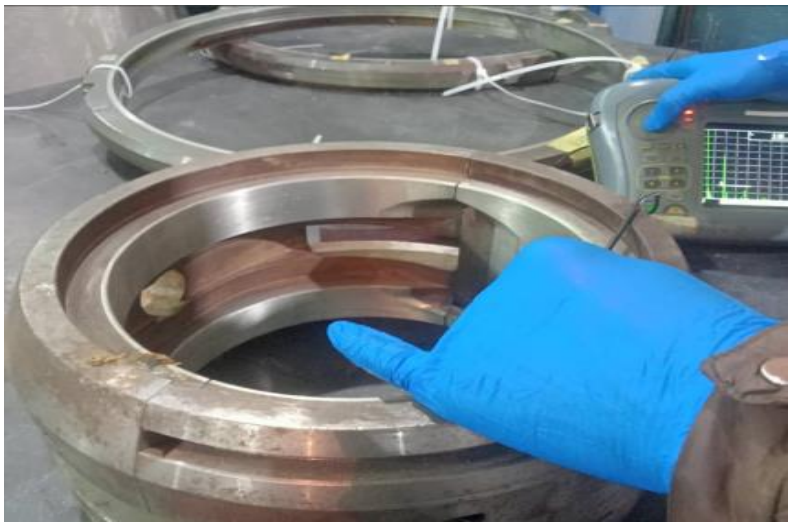


Figure (3-14) : Contrôle CND par Ultrasons d'un coussinet réparé.

- **Observation :**

  - Bonne adhérence du matériau antifriction (régule) sur toute la surface intérieure du coussinet. Au moment du contrôle non destructif par ultrason, on ne doit pas recevoir des pics entre les deux pics indiquant les surfaces du coussinet, ce qui confirme l'absence de discontinuités dans la couche du régule qui indique la bonne adhérence avec la surface du coussinet.

3-4-7 Etude des critères admissibles :

3-4-7-1- Critères d'admissibilité au rechargement à la baguette :

3-4-7-1- 1. Épaisseur minimale résiduelle :

Il n'y a pas une unique norme qui couvre l'intégralité du processus de rechargement, mais plutôt un ensemble de normes qui s'appliquent à différents aspects : les matériaux, le procédé de soudage, le contrôle de qualité...etc.

Voici les principales catégories de normes:

3-4-7-1-1-1 Normes sur les matériaux (Régule / Alliages de Babbitt) : Ces normes définissent la composition chimique, les propriétés physiques et les spécifications de qualité du régule utilisé.

- **ASTM B23 / B23M – Standard Specification for White Metal Bearing Alloys (Known as Babbitt Metal):** C'est l'une des normes les plus fondamentales. Elle couvre différentes qualités de régule à base d'étain et de plomb, leurs compositions, leurs propriétés mécaniques et leurs applications.
- **ISO 4381 – Plain bearings – Lead and tin alloys for multibore bearings:** Cette norme internationale est également pertinente pour les alliages de régule.

3-4-7-1-1-2 Normes sur le Soudage et le Rechargement (Principes Généraux) :

- **ISO 9606-x (ISO 9606-1 : acier, ISO 9606-2 :Al etc.) – Qualification testing of welders:** Normes définissant les critères de qualification des soudures.
- **ISO 15607 –** Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – General rules: elle établit les règles générales pour la spécification et la qualification des modes opératoires de soudage (MOS / WPS).
- **AWS (American Welding Society) Standards :** L'AWS propose également de nombreuses normes sur les procédés de soudage.

3-4-7-1-1-3 Normes sur les Essais et le Contrôle Qualité : Ces normes concernent les méthodes d'inspection et d'essai pour garantir la qualité du dépôt et de la liaison.

- **Contrôle Non Destructifs (CND) :**
  - **ISO 17635 – Non-destructive testing of welds – General rules for metallic materials:** Donne des lignes directrices pour l'application des CND sur les assemblages soudés.

- **ASTM E165 / E165M – Standard Practice for Liquid Penetrant Testing for General Industry:** Peut être utilisée pour détecter les défauts de surface (fissures, porosités) sur la couche de régule.

3-4-7-1-1-4Normes sur les Coussinets et les Exigences de Réparation :

- **ISO 4383 – Plain bearings – Thickness of overlaid solid bearing aloyas:** Donne des indications sur les épaisseurs de régule.
- **Normes spécifiques aux fabricants:** De nombreux fabricants d'équipements lourds (moteurs, turbines, compresseurs) ont leurs propres spécifications internes très détaillés pour la réparation et le rechargement de leurs coussinets, qui sont souvent plus strictes que les normes générales.

En pratique, la conformité des coussinets est souvent une combinaison de l'application de ces normes internationales, des spécifications techniques du client, et de l'expérience et du savoir-faire de l'atelier spécialisé de réparation.

On s'intéresse dans cette étude aux normes admissible de contrôle non destructive par ultrason des défauts d'adhérence entre le matériau antifriction et le support dans les coussinets

3-4-7-2 La Norme AF ISO 4386-1 : voir annexe 2 :

C'est une norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnorle 5 mars 1993 pour prendre effet le 5 avril 1993.

Elle a était élaborée par le comité technique ISO/TC 123, Palier lisse, sous-comité SC 2, Matériaux et lubrifiants, leurs propriétés, caractéristiques, méthodes d'essais et conditions d'essais, elle prescrit une méthode de détection aux ultrasons dedéfauts d'adhérence entre le matériau antifriction et le support.

Éditée et diffusée par l'association française de normalisation {AFNOR),

Elle concerne le contrôle effectué sur des paliers lisses métalliques multicouches revêtus de matériau antifriction à base de plomb et d'étain d'épaisseur supérieure ou égaleà **0.5mm.**

- l'ISO 4386 ne décrit que la méthode de contrôle échographique avec application du palpeur du côté du matériau antifriction.
- L'énergie sonore réfléchie par la surface d'assemblage entre le matériau antifriction et le support sert à déterminer la qualité de l'adhérence.

- ISO 2400:1972, Soudures sur acier, c'est la norme du Bloc de référence pour l'étalonnage des appareils pour l'examen par ultra-sons.
- Choix de palpeur voir le tableau de la page 2 annexe 2.
- Utilisation du matériau du bloc de référence, son épaisseur doivent être les mêmes que ceux du palier inspecté, et le réglage de la base de tempsdoit être effectuépour obtenir deux échos.
- Pour une faible épaisseur du matériau antifriction on utilise un palpeur à émetteur et récepteur séparé.
- Rugosité $R_a < 5\ \mu m$.
- Nettoyage de la surface de contrôle à l'aide d'agent de nettoyage.
- Contrôle par ultrason : utilisation du produit de couplage.
- Inspection ponctuelle de surface de frottement +des plans de joint, inspection complet de la surface sous charge maximale dans le cas des paliers radiaux.
- Inspection complet de la surface de la collerette, ligne par ligne, àl'aide de palpeur espacé de 20% du diamètre du palpeur.

Groupes de défauts :

- **Groupe A :**pour un palier lisse à support en acier d'une épaisseur inferieur ou égale à 70mm, sans vides, ni pores ni solution de continuité de la partie revêtue la variation d'épaisseur ne doit pas dépasser 25%.
- **Groupe B1 et B2 :** pour des paliers lisses neufs à support en acier d'une épaisseur inférieur ou égale à 100mm, sans vides, ni pores ni solution de continuité de la partie revêtue. la variation d'épaisseur ne doit pas dépasser 50%.
- **Groupe C :**pour des palierslisses neufs à support en acier d'une épaisseur inférieur ou égale à 100 mm, avec éventuellement quelques vides, pores, discontinuités la variation d'épaisseur ne doit pas dépasser 50%.
- **Groupe D :** ou les défauts n'appartiennent ni à A, ni à B ni à C.

Cas où il y a L'écho de fond :

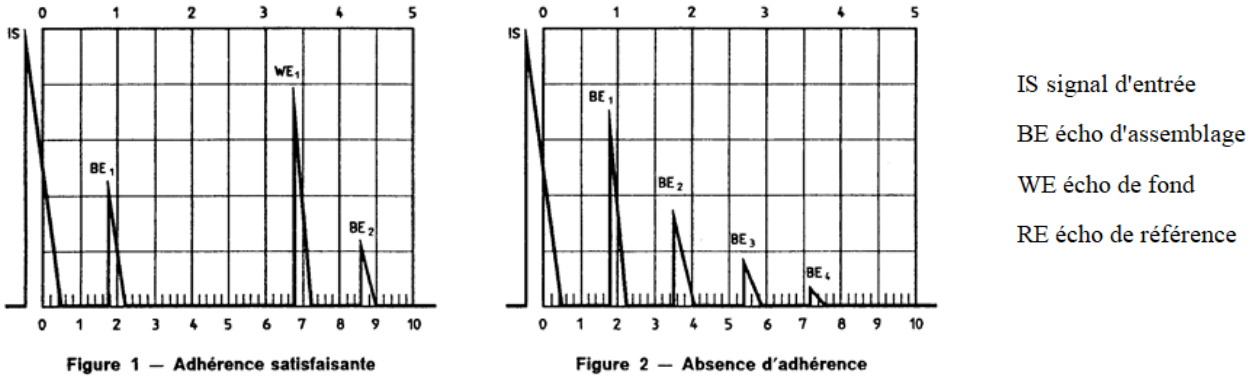


Figure (3-15) : Défauts d'Adhérence d'un coussinet

-Les anomalies détectées sont de dimension égale ou supérieure à la moitié du diamètre du cristal piézoélectrique du palpeur.

-L'écho d'assemblage est inférieur ou égal à l'écho de fond pour une adhérence satisfaisante.

- Pas d'écho de fond veut dire pas d'adhérence.

- Signal diffus veut dire métal antifriction poreux alors cette zone est défectueuse.

- Palier très épais de petit diamètre la règle n'est pas applicable, on utilise une éprouvette de référence (acier/métal antifriction) pour ajuster la forme des échos.

- les défauts du support sont **alors repérés par la position d'échos intermédiaires** apparaissant avant le premier écho de fond.

- Si il représente au moins 50% de la hauteur de l'écran, il est considéré comme indiquant un défaut significatif.

- Autres méthodes de contrôle qui se base à la réduction de la hauteur de l'écho du fond et contrôle sans écho de fond qu'on peut les utilisées, sont expliquées dans la page 3 et 4 de l'annexe 2.

-La méthode adaptée pour détecter la mauvaise adhérence du matériau de friction dans l'atelier est : l'apparition de échos intermédiaire ce qui est confirmé par les taches rouge dans le même endroit par le ressuage et cela indique la mal adhérence dans cet emplacement précis.

3-4-7-3Le tableau suivant résume les limites admissibles des défauts des coussinets :

Un rapport d'essai doit être établi. Il doit contenir les informations suivantes:

a) la référence de la présente partie de l'ISO 4366;

b) les dimensions et les matériaux du palier lisse:

c) l'épaisseur de la couche de matériau antifriction pour l'essai:

d) l'appareillage d'essai;

e) le type et la taille du palpeur; la fréquence d'essai:

g) l'amplification et l'étendue d'essai:

h) l'éprouvette de référence (dimensions et matériaux);

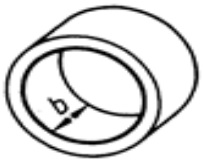
i) le nom du fabricant du palier et la date de l'essai:

j) les techniques d'essai selon l'annexe 2 partie 8.1.1, 8.1.2 ou 8.2.

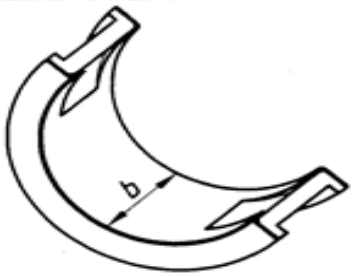
En cas de défauts, indiquer la position exacte de ceux-ci sur un dessin de la surface de frottement à joindre au rapport d'essai.

Tableau 2 — Groupes de défauts

Groupe de défauts	Surface d'appui[1] Défauts isolés admis mm² max.	Surface d'appui[1] Total des défauts admis % max.	Défaut admis sur la zone périphérique en fonction de la longueur du bord[2] % max.	n'excédant pas mm max.
A	0	0	0	0
B1	0,75*b*	1	1	5
B2	2*b*	1	1	5
C	2*b*	2	2	10
D	4*b*	5	4	20

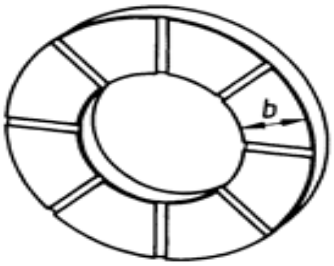


Bague

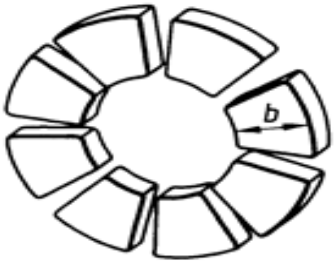


Coussinet

a) Palier lisse radial



Rondelle de butée



Ensemble des patins de butée

b) Butée

1) Il s'agit de la totalité de la zone d'appui réel continu du tourillon ou de l'élément porteur (patin) de la butée.

b, en millimètres, représente la largeur fonctionnelle du palier dans le cas de paliers radiaux, et la largeur du segment ou de la bague dans le cas de butées.

Si un défaut isolé représente plus que le total des défauts admis, c'est le dernier qu'on retiendra.

2) La zone de transition est la partie visible entre le support et le matériau antifriction. Dans le cas des paliers radiaux ou des butées, la longueur du bord est la zone de transition entre la face et le plan du joint. Dans le cas des paliers à patins normaux ou oscillants, c'est la longueur périphérique d'un seul patin.

Tableau (3-1) : limites admissibles des défauts des coussinets

3-4-7-4 Conclusion:

Le contrôle par ultrasons est une méthode hautement efficace et indispensable pour évaluer l'adhérence du régule sur les coussinets. Avant la réparation, cette technique a permis d'identifier précisément les zones de décollement avec exactitude ce qui aide à estimer la décision de réparation ou du rejet du coussinet.

J'ai étudié les normes qui régisse le contrôle non destructif du coussinet par ultrason, sous la supervision des ingénieurs de contrôle de qualité de la société de maintenance SAIEG de SONELGAS de Msila, j'ai appris les étapes à suivre pour évaluer les défauts, soit ceux qui ont rapport avec la couche du matériau antifriction ou ceux qui avec le support et les critère d'admissibilités qui nous permet de juger la conformité du coussinet, sa réparation ou bien son rejet.

La bonne rectification du coussinet implique l'absence de décollement le long de la surface intérieure du coussinet ce qui sera confirmé par l'absence de pics multiples sur l'écran ou un pic intermédiaire du l'appareil à ultrason.

J'ai beaucoup appris de cette expérience. Les notions théoriques enrichissent nos connaissances, mais le terrain nous fait apprendre comment les utiliser, et de cela on tire les bonnes réactions dans toutes les situations.

Conclusion Générale

Le mode de contrôle non destructif permet d'estimer la localisation et le dimensionnement du défaut dans les coussinets, et cela sans avoir être obligé de détruire la pièce.

Dans cette étude, sous le titre de préparation de projet de fin d'étude, j'ai eu l'occasion d'approfondir mes connaissances en matière de CND par ultrasons. J'ai relevé plusieurs points essentiels, telles que les notions de bases des ultrasons, les techniques de contrôle, les méthodes d'estimation des défauts, et surtout l'exploitation des normes régissant chaque étape, du système de fabrication au mode de contrôle des coussinets.

La supervision des ingénieurs de l'unité de maintenance et de contrôle de qualité de SAIEG que j'ai reçu, m'a permis d'approfondir mes compétences et de tirer les bonnes pratiques d'application sur le terrain des exigences des normes, depuis la réception du coussinet à contrôler jusqu'à sa sortie intacte.

Notre intérêt était visé sur les critères admissibles du contrôle non destructif par ultrason des coussinets. J'ai étudié la norme française NF ISO 4386-1 qui régit ce côté.

Dans l'appareil à ultrason, la position de l'écho du défaut entre le pic de l'assemblage et l'écho de fond du coussinet est proportionnelle à l'emplacement du décollement du matériau antifriction, c'est exactement ce que le ressuage l'a indiqué. La combinaison de deux méthodes de contrôle non destructif nous aide à avoir des résultats plus fiables et aussi de confirmer nos estimations.

Après la détection de défauts on a opté à la réparation du coussinet: le dérégulage et le régulage, et ensuite le contrôle final. Ces étapes, m'ont poussé de découvrir plus le côté pratique.

Le respect des exigences des normes conduit à des bénéfices retrouvés sur la durée de vie des coussinets, et aident à éviter les risques de fonctionnement.

Annexes

Annexe 1 Autorisation de stage à SAIEG de SONELGAZ :

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج -
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة الميكانيكية

Réf: 113 DGM-FST

BBA, Le 16/03/2025

A Monsieur :
Le directeur de l'unité (SAIEG) SONELGAZ -
Draa Elhadja – M'sila.

Objet : Autorisation à effectuer des essais au niveau de votre unité.

Je me permets de vous adresser la présente demande en tant que chef de département de génie mécanique, Université de Bordj Bou Arréridj. Nous vous prions de bien vouloir accepter l'étudiant **BEN GUEDDOUDJ Riad**, inscrit en Master 02 Génie Mécanique (Spécialité : Matériaux), d'effectuer des essais au sein de votre laboratoire.

Nous vous remercions de considérer notre demande et serions ravis de collaborer avec l'étudiant pour le développement de leurs compétences.

Cordialement,

Le chef de département

Avis favorable
Essai traction
à partir de
12/04/2025 – 12/04/2025

Doughi Nordine
Chef du Service Contrôle Qualité

Adresse : Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi,
B.P. 34030 El Anasser, Bordj Bou Arréridj –Algérie ,
Tel/Fax : 044-29-03-82.
Site web : www.univ-bba.dz

العنوان: جامعة محمد البشير الإبراهيمي، ص.ب 34030 المناصر، برج بوعريريج – الجزائر.

سايغ
SAIEG

الشركة الجزائرية للصناعات الكهربائية و الغازية
SOCIETE ALGERIENNE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES ET GAZIERES

DRH - Formation

STAGE PRATIQUE DU : 13/04/2025 AU : 17/04/2025

FEUILLE DE PRESENCE

Mr : **BEN GUEDDOUDJ Riad** Spécialité : **M2 Génie Mécanique Spécialité génie des Matériaux**

DATE	Matinée	Après midi
13/04/2025	P	P
14/04/2025	P	P
15/04/2025	P	P
16/04/2025	P	P
17/04/2025	P	P
20/04/2025	P	P
21/04/2025	P	P
22/04/2025	P	P
23/04/2025	P	P
24/04/2025	P	P

Le Chef Service Controle Qualite

Service Contrôle Qualité

Annexe 2 Norme NF ISO 4386-1

ISSN 0335-3931

norme française

NF ISO 4386-1
Avril 1993

Indice de classement : **E 22-560**

Paliers lisses

Paliers lisses métalliques multicouches

Partie 1 : Contrôle non destructif aux ultrasons des défauts d'adhérence

E : Plain bearings — Metallic multilayer plain bearings — Part 1 : Non-destructive ultrasonic testing of bond
D : Gleitlager — Metallische Verbundgleitlager — Teil 1 : Zerstörungsfreie Ultraschall — Prüfung der Bindung

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 5 mars 1993 pour prendre effet le 5 avril 1993.

Remplace la norme homologuée NF E 22-560, de décembre 1985.

correspondance Le présent document reproduit intégralement la norme internationale ISO 4386-1:1992.

analyse Le présent document prescrit une méthode de détection aux ultrasons de défauts d'adhérence entre le matériau antifriction et le support.

descripteurs **Thésaurus International Technique** : palier, palier lisse, essai non destructif, essai par ultrasons, détection, défaut, adhérence, classification, désignation.

modifications Par rapport à la précédente édition : reprise uniquement de la partie 1, élargissement du domaine d'application en ce qui concerne l'épaisseur du revêtement.

corrections

éditée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), tour europe cedex 7 92049 paris la défense — tél. : (1) 42 91 55 55

afnor 1993 © afnor 1993 1er tirage 93-04

Paliers lisses

UNM **524**

Membres de la commission de normalisation

Président : M FOUQUOIRE

Secrétariat : UNM

M	ALLARD	UNITRAM
M	BADIE-LEVET	EDUCATION ENSAM
M	BEAUREPAIRE	SIC
M	BERTRANDIAS	BERTRANDIAS
M	BESSON	LE CARBONE LORRAINE
M	CLAUSTRE	CITROEN
M	CORMORANT	SINTERTECH
M	DAMOUR	FEDERAL MOGUL
M	DAVID	RENAULT AUTOMOBILES
M	FOUQUOIRE	UNM
M	GUASCO	FIEV
M	LE CAIN	TOUS LES COUSSINETS
M	NENON	BNAE
MLLE	TREPON	AFNOR
M	VAUTHIER	CHAMBRE SYNDICALE DES CONSTRUCTEURS DE NAVIRES
M	WAECKEL	EDF

Avant-propos national

Références aux normes françaises

La correspondance entre les normes internationales mentionnées à l'article «Références normatives» et les normes françaises est la suivante :

ISO 4386-3 : NF ISO 4386-3 (indice de classement : E 22-564)

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 4386-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 123, *Paliers lisses*, sous-comité SC 2, *Matériaux et lubrifiants, leurs propriétés, caractéristiques, méthodes d'essais et conditions d'essais*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 4386-1:1982), dont elle constitue une révision technique.

L'ISO 4386 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Paliers lisses — Paliers lisses métalliques multicouches*:

— *Partie 1: Contrôle non destructif aux ultrasons des défauts d'adhérence*

— *Partie 2: Détermination, par essai destructif, de l'adhérence du matériau antifriction d'épaisseur supérieure ou égale à 2 mm*

— *Partie 3: Contrôle non destructif par ressuage*

L'annexe A de la présente partie de l'ISO 4386 est donnée uniquement à titre d'information.

Paliers lisses — Paliers lisses métalliques multicouches —

Partie 1:
Contrôle non destructif aux ultrasons des défauts d'adhérence

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 4386 prescrit une méthode de détection aux ultrasons des défauts d'adhérence entre le matériau antifriction et le support. L'essai peut être effectué sur des paliers lisses métalliques multicouches revêtus de matériau antifriction à base de plomb et d'étain d'épaisseur supérieure ou égale à 0,5 mm.

Ce contrôle n'est pas possible sur une distance correspondant à la moitié du diamètre du cristal des bords des paliers et autour des trous de graissage, rainures, etc., à cause de distorsions indéterminées. Sur les paliers à rainures clavetées en queue d'aronde, l'essai peut être impossible le long des bords de la rainure. L'évaluation de l'adhérence sur les faces d'extrémité et les faces de joints est possible par la méthode de ressuage prescrite dans l'ISO 4386-3.

Aux termes de la présente partie de l'ISO 4386, la méthode aux ultrasons ne permet qu'une évaluation qualitative de l'assemblage et non une évaluation quantitative de la résistance de lien comme spécifié dans l'ISO 4386-2.

La présente partie de l'ISO 4386 ne décrit que la méthode de contrôle échographique avec application du palpeur du côté du matériau antifriction. Le cas où le palpeur est appliqué du côté du matériau support peut être traité de façon analogue.

L'énergie sonore réfléchie par la surface d'assemblage entre le matériau antifriction et le support sert à déterminer la qualité de l'adhérence.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 4386. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 4386 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 2400:1972, *Soudures sur acier — Bloc de référence pour l'étalonnage des appareils pour l'examen par ultra-sons.*

ISO 4386-2:1982, *Paliers lisses — Paliers lisses métalliques multicouches — Partie 2: Détermination, par essai destructif, de l'adhérence du matériau antifriction d'épaisseur supérieure ou égale à 2 mm.*

ISO 4386-3:1992, *Paliers lisses — Paliers lisses métalliques multicouches — Partie 3: Contrôle non destructif par ressuage.*

ISO 7963:1985, *Soudures sur acier — Bloc d'étalonnage no 2 pour l'examen par ultrasons des soudures.*

3 Symboles

Les symboles suivants sont utilisés dans la présente partie de l'ISO 4386.

IS signal d'entrée

BE écho d'assemblage

WE écho de fond

RE écho de référence

4 Appareillage

4.1 Appareillage d'essai à ultrasons

L'essai doit être effectué avec des systèmes de contrôle échographique à visualisation de type A rectifiée. Ces systèmes doivent être équipés d'un régulateur d'amplification, étalonné en décibels, à base de temps réglable. Les fonctions effacement et gain balayé doivent être coupées.

4.2 Palpeurs

La dimension, la fréquence et le type de palpeur doivent être choisis en fonction de l'épaisseur du matériau antifriction, de l'épaisseur et du type du matériau support. Voir tableau 1.

Si le signal d'entrée et l'écho d'assemblage ne peuvent pas apparaître séparément sur l'écran du fait de la faible épaisseur du matériau antifriction, des palpeurs à émetteur et récepteur séparés doivent être utilisés.

4.3 Étendue de la base de temps

L'étendue de la base de temps doit être réglée de manière à obtenir deux échos pour un bloc de référence approprié. Ce bloc consiste en une couche de matériau antifriction pour partie convenablement collée sur un matériau support adéquat et pour partie adhérant de façon insuffisante. Le matériau du bloc de référence et son épaisseur doivent être les mêmes que ceux du palier inspecté.

5 Préparation

5.1 Préparation de la surface d'essai (surface de frottement)

5.1.1 État de la surface d'essai

La surface d'essai doit avoir une rugosité $R_a \leqslant 5$ µm.

5.1.2 Nettoyage de la surface d'essai

Éliminer la crasse et l'huile après usinage, à l'aide d'agents de nettoyage appropriés. La surface peut ensuite, si nécessaire, être séchée au moyen de papier ou de chiffons.

5.2 Contrôle aux ultrasons

Contrôler les paliers lisses soit par contact en utilisant de l'huile légère de machine comme produit de couplage, soit en immersion. Le contrôle par contact peut s'avérer difficile pour les paliers de petit diamètre en raison de la difficulté d'établir un couplage uniforme sur les surfaces incurvées.

Le couplage peut être amélioré par le choix d'un palpeur fabriqué avec une surface incurvée adaptée au rayon de la surface. On peut aussi, notamment pour les paliers de diamètre inférieur à 100 mm, procéder à un contrôle par contact de la surface du support là où elle est lisse (voir 5.1.1). Ce balayage peut également être utilisé pour vérifier les défauts si les signaux de la surface de matériau antifriction ne sont pas concluants en raison, par exemple, de défauts situés dans l'épaisseur du matériau support.

Tableau 1 — Choix de palpeurs

Épaisseur de la couche de matériau antifriction mm	Épaisseur du support (acier)[1] mm	Diamètre du palpeur mm	Fréquence du palpeur MHz	Type de palpeur
> 2	20 à 250	10 à 30	2 à 5	Émetteur-récepteur
1 à 3	5 à 50	10 à 15	4 à 6	À émetteur et récepteur séparés
0,5 à 3	1 à 25	6	10	À émetteur et récepteur séparés

1) Pour la fonte, le maximum est réduit d'un facteur de 0,5, pour le bronze d'un facteur de 0,3 à 0,2.

6 Classes d'essai

L'essai peut être effectué selon l'une des trois classes de sévérité croissante suivantes.

— **Classe 1:** inspection complète des bords de la surface de frottement au niveau de la collerette et des plans de joint, inspection ponctuelle de la surface de frottement.

— **Classe 2:** inspection complète de la surface de collerette, des bords de la surface de frottement au niveau de la collerette et des plans de joint, plus inspection complète de la surface sous charge maximale (par exemple, dans le cas de paliers radiaux sur lesquels la charge s'exerce verticalement et du haut vers le bas entre 60° et 120° par rapport à la surface de frottement).

— **Classe 3:** inspection complète de la surface de la collerette et de la surface de frottement, ligne par ligne, à l'aide du palpeur. Pour ne négliger aucun point, la vérification se fait sur des lignes espacées de 20 % du diamètre du vibrateur.

7 Groupes de défauts

Le choix du groupe de défauts dépend des contraintes auxquelles le palier lisse est soumis en cours de fonctionnement. La conception du support joue sur les coûts de fabrication. On a donc établi la classification suivante (voir tableau 2).

— **Groupe A:** applicable aux paliers lisses neufs, à support en acier d'une épaisseur inférieure ou égale à 70 mm, sans vides, ni pores ni solution de continuité de la partie revêtue. La variation d'épaisseur ne doit pas dépasser 25 %.

— **Groupes B1 et B2:** applicables aux paliers lisses neufs, à support en acier d'une épaisseur inférieure ou égale à 100 mm, sans vides, ni pores ni solution de continuité de la partie revêtue. La variation d'épaisseur ne doit pas dépasser 50 %.

— **Groupe C:** applicable aux paliers lisses neufs ou réparés, à support en acier d'une épaisseur inférieure ou égale à 100 mm (avec éventuellement quelques vides, pores ou solutions de continuité de la partie revêtue). La variation d'épaisseur ne doit pas dépasser 50 %.

— **Groupe D:** applicable aux paliers lisses neufs ou réparés dont les défauts ne peuvent pas être classés comme appartenant aux groupes A, B ou C.

8 Essais

8.1 Essai avec écho de fond

Si la géométrie du palier multicouche et le matériau support le permettent, vérifier toujours l'assemblage à l'aide d'un système de comparaison de l'écho d'assemblage et de l'écho de fond. Les diverses méthodes sont données en 8.1.1 et 8.1.2.

8.1.1 Essai en fonction de la hauteur des échos d'assemblage et de fond

L'assemblage est déclaré satisfaisant lorsqu'avec un palpeur conforme à celui décrit en 4.2, l'écho donné par la surface d'assemblage (écho d'assemblage) est égal ou inférieur à l'écho de fond (voir figure 1).

Si l'écho d'assemblage est supérieur à l'écho de fond, c'est que l'adhérence entre le matériau antifriction et le support n'est pas suffisante. Si, par ailleurs, il n'y a pas d'écho de fond et que l'écho d'assemblage se répète (au moins trois fois), c'est qu'il n'y a pas adhérence du tout (voir figure 2). Durant l'évaluation, les deux cas sont traités comme des cas de défauts d'adhérence. Si l'écho d'assemblage et l'écho de fond sont tous les deux réduits, ou si le signal devient diffus, c'est le signe d'une porosité du métal antifriction. Si des zones présentant une porosité du matériau antifriction jouxtent des zones défectueuses, ces zones sont aussi considérées comme défectueuses par suite de l'incertitude qu'elle font peser sur l'évaluation de l'adhérence.

Dans le cas de paliers très épais de petit diamètre, ou d'emploi de palpeurs à émetteur et récepteur séparés, il se peut que l'écho de fond devienne inférieur à l'écho d'assemblage par suite d'une divergence du faisceau sonore ou d'un affaissement de l'onde sonore, même si l'adhérence est satisfaisante. En cas de doute, le rapport des niveaux de deux échos correspondant respectivement à un assemblage parfait et à un assemblage défectueux doit être déterminé à l'aide d'une éprouvette de référence (acier/métal antifriction).

8.1.2 Essai en fonction de la réduction de hauteur de l'écho de fond

Étalonner le balayage du matériel d'essai à l'aide d'un bloc de référence conforme à l'ISO 2400 ou à l'ISO 7963 de manière à obtenir au moins deux échos de fond sur l'écran. Régler l'amplification de telle sorte que le premier écho de fond représente 80 % de la hauteur de l'écran. Il convient de repérer la position de l'écho de fond sur l'écran. Les défauts d'adhérence ou les défauts du support sont alors repérés par la position d'échos intermédiaires apparaissant avant le premier écho de fond. Apprécier alors la gravité des défauts en fonction de la réduc-

tion de hauteur de l'écho de fond (voir figures 3 et 4). Un écho représentant 50 % ou moins de la hauteur de l'écran est considéré comme indiquant un défaut significatif dans l'évaluation du palier suivant les indications de 8.2.

8.2 Essai sans écho de fond

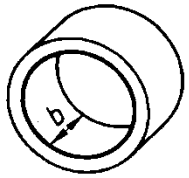
Évaluer l'adhérence à partir d'un écho de référence obtenu sur un bloc de référence. Ce bloc doit avoir un revêtement massif ayant à peu près la même épaisseur que le revêtement de matériau antifriction. Régler cet écho de référence à 80 % de la hauteur de l'écran (voir figures 5 et 7; pour les palpeurs à émetteur et récepteur séparés, voir figures 9 et 11). L'adhérence est satisfaisante si le premier écho d'assemblage est inférieur à l'écho de référence (voir figure 6; pour les palpeurs à émetteur et récepteur séparés, voir figure 10). Il y a défaut d'adhérence si le premier écho d'assemblage est égal ou supérieur à l'écho de référence (voir figure 8; pour les palpeurs à émetteur et récepteur séparés, voir figure 12).

Un signal devenant irrégulier ou diffus est le signe d'une porosité du métal antifriction.

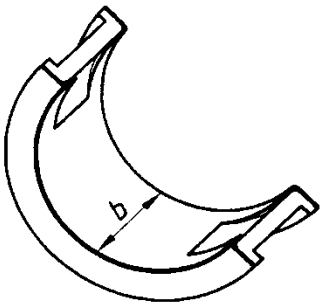
Si des zones présentant une porosité du matériau jouxtent des zones défectueuses, ces zones sont considérées comme défectueuses par suite de l'incertitude qu'elles font peser sur l'évaluation de l'adhérence.

Tableau 2 — Groupes de défauts

Groupe de défauts	Surface d'appui[1] Défauts isolés admis	Total des défauts admis	Défaut admis sur la zone périphérique en fonction de la longueur du bord[2]		
	mm²	%	%	n'excédant pas	mm
	max.	max.	max.		max.
A	0	0	0		0
B1	0,75*b*	1	1		5
B2	2*b*	1	1		5
C	2*b*	2	2		10
D	4*b*	5	4		20

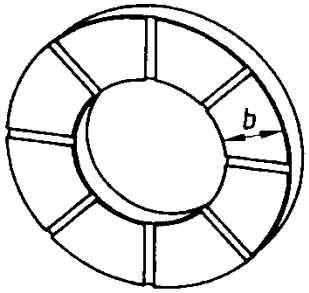


Bague

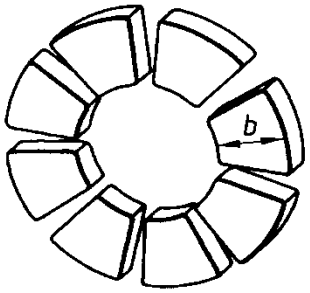


Coussinet

a) Palier lisse radial



Rondelle de butée



Ensemble des patins de butée

b) Butée

1) Il s'agit de la totalité de la zone d'appui réel continu du tourillon ou de l'élément porteur (patin) de la butée.

b, en millimètres, représente la largeur fonctionnelle du palier dans le cas de paliers radiaux, et la largeur du segment ou de la bague dans le cas de butées.

Si un défaut isolé représente plus que le total des défauts admis, c'est le dernier qu'on retiendra.

2) La zone de transition est la partie visible entre le support et le matériau antifriction. Dans le cas des paliers radiaux ou des butées, la longueur du bord est la zone de transition entre la face et le plan du joint. Dans le cas des paliers à patins normaux ou oscillants, c'est la longueur périphérique d'un seul patin.

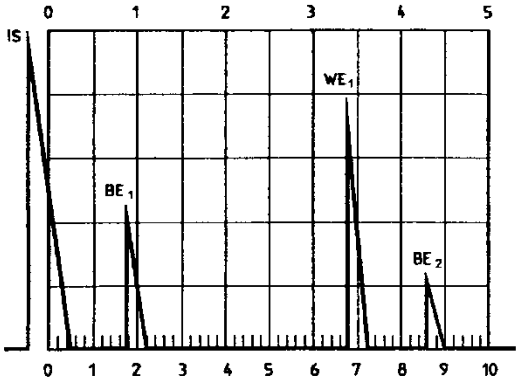


Figure 1 — Adhérence satisfaisante

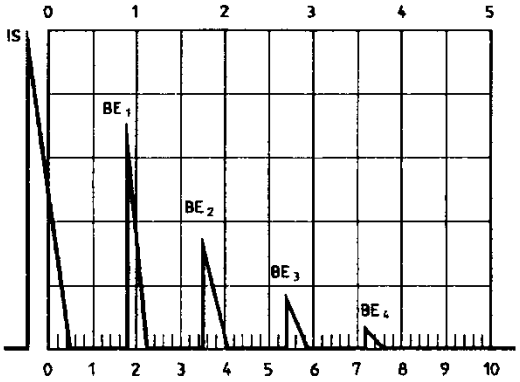


Figure 2 — Absence d'adhérence

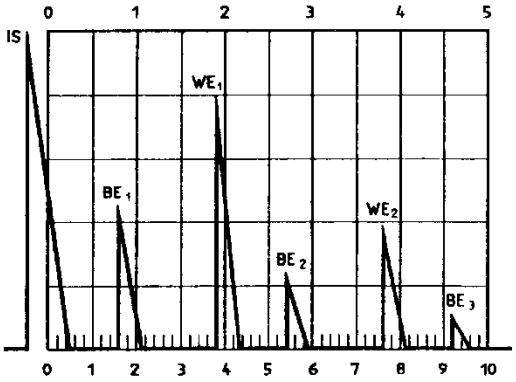


Figure 3 — Adhérence satisfaisante

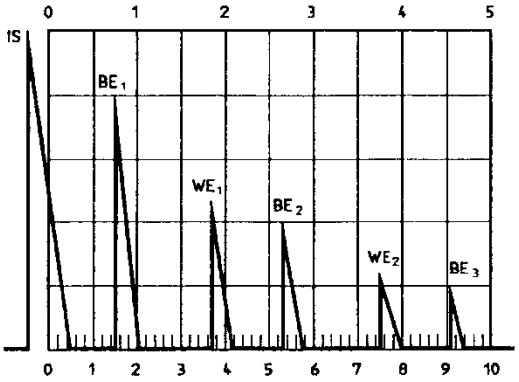


Figure 4 — Mauvaise adhérence

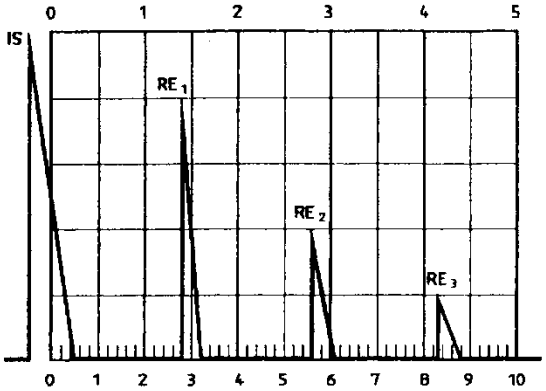


Figure 5 — Réglage de l'écho de référence

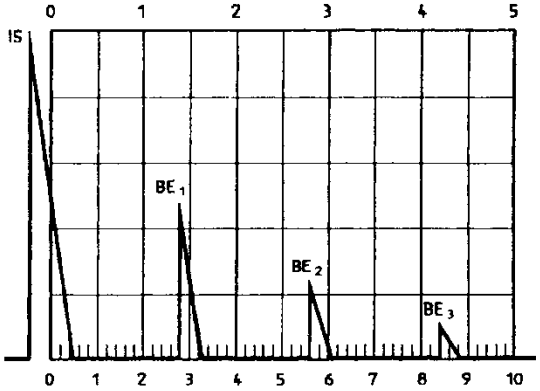


Figure 6 — Adhérence satisfaisante

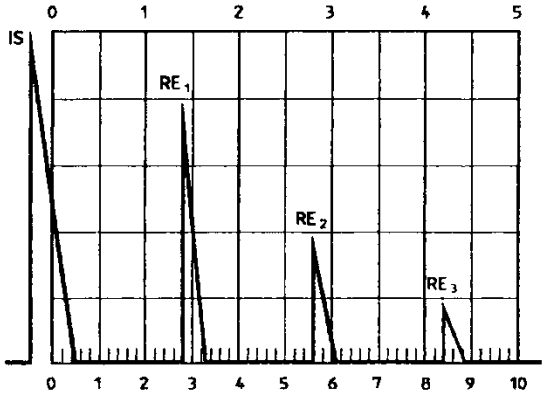


Figure 7 — Réglage de l'écho de référence

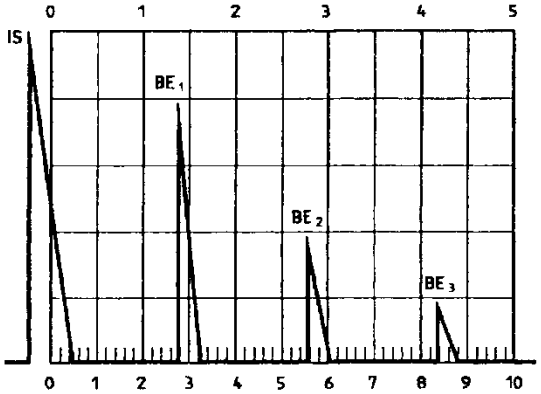


Figure 8 — Mauvaise adhérence

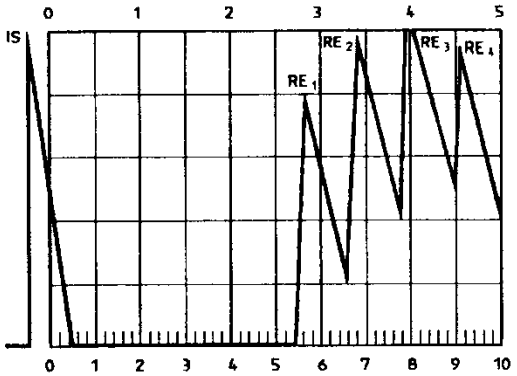


Figure 9 — Réglage de l'écho de référence avec un palpeur à émetteur et récepteur séparés

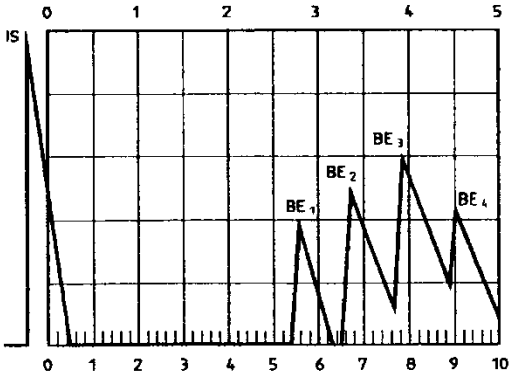


Figure 10 — Adhérence satisfaisante (palpeur à émetteur et récepteur séparés)

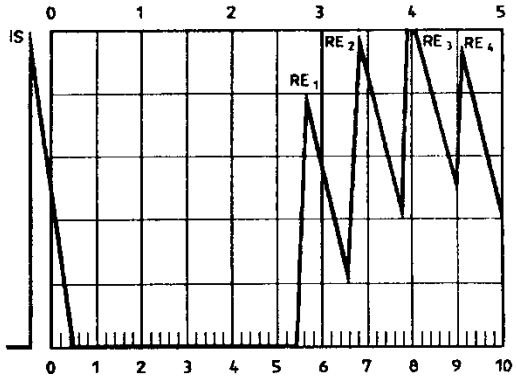


Figure 11 — Réglage de l'écho de référence avec un palpeur à émetteur et récepteur séparés

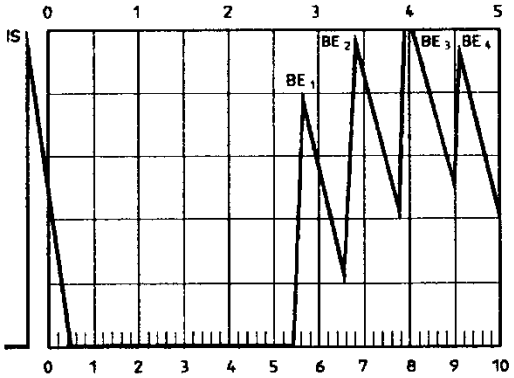


Figure 12 — Mauvaise adhérence (palpeur à émetteur et récepteur séparés)

9 Évaluation

L'évaluation des résultats d'essai en fonction des prescriptions de la présente partie de l'ISO 4386 permet normalement de repérer les défauts d'adhérence égaux ou supérieurs à la moitié du diamètre du cristal.

Il convient que les échos intermédiaires entre l'écho d'assemblage et l'écho de fond, indiquant la présence de dédoublure de laminage dans l'acier, soient repérés séparément sur les zones défectueuses et dans le rapport d'essai.

9.1 Marquage des zones défectueuses

Il convient, si possible, d'entourer les zones défectueuses de lignes droites. La position du centre du palpeur est le point décisif de la détermination de la ligne de transition entre adhérence et non-adhérence.

Les défauts de type ponctuel isolés doivent être marqués de valeurs correspondant à la moitié du diamètre du cristal.

Si l'écartement entre deux ou plusieurs défauts est inférieur à un dixième de la largeur, *b*, du palier, ces défauts doivent être considérés comme un seul et même défaut continu.

9.2 Limites admissibles des défauts

Voir tableau 2.

Pour les paliers lisses radiaux, il est possible d'adopter une classification différente des défauts dans différentes régions du palier selon la nature, la taille et l'orientation de la charge (par exemple, groupe A pour la région sous charge et groupe C pour les autres).

10 Désignation

Par référence à la présente partie de l'ISO 4386, la classe d'essai et le groupe de défauts doivent être indiqués dans cet ordre.

EXEMPLE

Un essai de classe 2 et un groupe de défauts C doivent être désignés comme suit:

Essai ISO 4386 - 2C

11 Rapport d'essai

Un rapport d'essai doit être établi; néanmoins, pour les classes 1 et 2 il est soumis à accord préalable.

Il doit contenir les informations suivantes:

a) la référence de la présente partie de l'ISO 4386;

b) les dimensions et les matériaux du palier lisse;

c) l'épaisseur de la couche de matériau antifriction pour l'essai;

d) l'appareillage d'essai;

e) le type et la taille du palpeur;

f) la fréquence d'essai;

g) l'amplification et l'étendue d'essai;

h) l'éprouvette de référence (dimensions et matériaux);

i) le nom du fabricant du palier et la date de l'essai;

j) les techniques d'essai selon 8.1.1, 8.1.2 ou 8.2.

En cas de défauts, indiquer la position exacte de ceux-ci sur un dessin de la surface de frottement à joindre au rapport d'essai.

Annexe A
(informative)

Bibliographie

[1] ISO 6280:1981, *Paliers lisses — Caractéristiques des supports pour coussinets multicouches épais.*

Abstract: This thesis deals with the application of the ultrasonic non-destructive testing (NDT) method for the inspection of bearings, essential mechanical components ensuring the guidance and support of rotating shafts in many industrial machines. The main objective of this work is to study the application of the ultrasonic non-destructive testing method on bearings, to analyze the defects encountered such as the detachment of the anti-friction material layer and porosities, without damaging the part, and to define the admissibility of these elements according to international standards. The NF ISO 4386-1 standard, which specifically governs this field, was studied. The experimental study was carried out at SAIEG of SONALGAS in order to identify typical defects (adhesion, cracks, inclusions, etc.), and then to define the admissibility or repair of the bearings according to the operational safety of the part. The application was carried out under the supervision of SAIEG engineers from SONALGAS.

Keywords: Bearings, ultrasonic NDT, NF ISO 4386-1, anti-friction material, flaw detection, admissible criteria.

ملخص: تتناول هذه الرسالة تطبيق طريقة الاختبار غير الإتلافي بالموجات فوق الصوتية (NDT) لفحص المحامل، وهي مكونات ميكانيكية أساسية تضمن توجيه ودعم أعمدة الدوران في العديد من الآلات الصناعية. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تطبيق طريقة الاختبار غير الإتلافي بالموجات فوق الصوتية على المحامل، وتحليل العيوب التي قد تظهر، مثل انفصال طبقة المواد المضادة للاحتكاك والمسامات، دون إتلاف القطعة، وتحديد مدى قبول هذه العناصر وفقًا للمعايير الدولية. وقد تمت دراسة معيار NF ISO 4386-1، الذي يُنظم هذا المجال تحديدًا. أُجريت الدراسة التجريبية في شركة SAIEG التابعة لشركة SONALGAS لتحديد العيوب النموذجية (الالتصاق، والشقوق، والشوائب، وما إلى ذلك)، ومن ثم تحديد مدى قبول أو إصلاح المحامل وفقًا لسلامة تشغيل القطعة. أُجري التطبيق تحت إشراف مهندسي شركة SAIEG من شركة SONALGAS.

الكلمات المفتاحية: المحامل، الفحص غير المدمر بالموجات فوق الصوتية، NF ISO 4386-1، مادة مضادة للاحتكاك، الكشف عن العيوب، المعايير المقبولة.

Résumé: Le présent mémoire porte sur l'application de la méthode de contrôle non destructif (CND) par ultrasons pour l'inspection des coussinets, composants mécaniques essentiels assurant le guidage et le soutien des arbres tournants dans de nombreuses machines industrielles. L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'application de la méthode de contrôle non destructif par ultrason sur les coussinets, d'analyser les défauts rencontrés comme le décollement de la couche du matériau antifriction et les porosités, sans endommager la pièce, et de définir l'admissibilité de ces éléments selon les normes internationales. On a étudié la norme NF ISO 4386-1 qui régit spécifiquement ce domaine. L'étude expérimentale a été menée à SAIEG de SONALGAS afin d'identifier les défauts typiques (l'adhérence, les fissures, les inclusions, etc.), puis de définir l'admissibilité ou bien la réparation des coussinets en fonction de la sécurité de fonctionnement de la pièce. L'application a été faite sous la supervision des ingénieurs de SAIEG de SONALGAS.

Mots clés : Coussinets, CND par ultrason, NF ISO 4386-1, matériau antifriction, Détection de défauts, critères admissibles.