



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية و الكهروميكانيك

Département d'Automatique et d'Electromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Electromécanique

Spécialité: Maintenance industrielle

Thème

**Implémentation d'une stratégie de maintenance prévisionnelle
par analyse vibratoire des machines tournantes chez
ALFAPIPE Ghardaïa (décision 1275)**

Présenté par:

GHRIGA ABDERRAOUF

RAI YUCEF

Soutenu publiquement le 21/06/2026

Devant le jury composé de:

Salah BEZARI	Dir Rech	Université de Ghardaïa	Président
Hocine MERZOUG	MAA	Université de Ghardaïa	Encadrant
Rafik LALJI	MCB	Université de Ghardaïa	Examineur
Abdelkader GTIB	MCA	Université de Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2025/2026

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Ensuite, notre encadreur **Mr. Hocine Merzoug** pour les efforts qu'il a déployés, pour nous aider, conseiller, et corriger. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner.

Je remercie également tous les enseignants du département d'Automatique et d'Electromécanique de l'université de Ghardaïa ont participé à ma formation pendant tout le cycle universitaire.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

D É D I C A C E

Par la grâce d'Allah le Tout-Puissant, après des années de travail acharné, d'efforts, de sacrifices et de détermination, j'ai le bonheur d'atteindre ce jour tant attendu. Je dédie ce modeste travail à :

À la mémoire de mon cher grand-père, qu'Allah lui accorde Sa miséricorde et lui ouvre les portes de Son vaste paradis, dont le souvenir restera à jamais gravé dans mon cœur.

À mes très chers parents, ma mère et mon père, symboles d'amour, de sacrifice et de dévouement, qui n'ont cessé de me soutenir, de m'encourager et de m'entourer de leurs prières tout au long de mon parcours. Qu'Allah les protège, leur accorde santé et longue vie, et les récompense pour tout ce qu'ils ont fait pour moi. Ce succès est avant tout le fruit de leurs efforts.

À mes sœurs : mon soutien solide et mes compagnons de vie, pour leur présence à mes côtés à chaque étape, ainsi que leur encouragement constant.

À ma grande famille et À mes chers amis

Je dédie ce travail avec un profond sentiment de respect, de gratitude et de reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

GHRIGA ABDERRAOUF

DÉDICACE

"Le succès n'est pas le fruit du hasard, mais le couronnement de la persévérance."

Par la grâce d'Allah le Tout-Puissant, après des années de dur labeur, de sacrifices et de détermination, j'ai le bonheur d'atteindre ce jour tant attendu. Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents : Mon ultime pilier et ma lumière. À mon père, pour ses sacrifices, son soutien indéfectible et l'exemple de droiture qu'il m'a transmis. À ma tendre mère, pour son amour infini, ses prières nocturnes et sa bienveillance qui ont éclairé mon chemin. Ce succès est avant tout le vôtre.

À mes sœurs : Mes soutiens inébranlables et mes compagnons de vie. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir été à mes côtés à chaque étape.

À mon binôme et fidèle compagnon de route : Avec qui j'ai partagé les moments de doute et les joies de la réussite. Merci pour cette précieuse collaboration.

À mes enseignants et encadrants : Qui m'ont transmis le savoir avec patience et dévouement, et qui ont guidé mes pas vers l'excellence.

RAI YUCEF

استجابةً لضرورة تحسين موثوقية الآلات الدوارة (المحركات، المضخات، والضواغط، والمراوح) وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها في الإنتاج، طبقت شركة ألفايبب غرداية استراتيجية صيانة تنبؤية تعتمد على تحليل الاهتزازات. وتأتي هذه المبادرة ضمن جهود أوسع لتحسين تكاليف الصيانة ورفع الإنتاجية.

يمثل تطبيق تحليل الاهتزازات في شركة ألفايبب غرداية تحديثاً استراتيجياً لسياسة الصيانة لديها. فمن خلال الاعتماد على بيانات ملموسة لتوجيه عمليات الصيانة، تتجه الشركة نحو إدارة أكثر موثوقية واقتصادية وتنافسية لأصولها الصناعية، مما يضمن استمرار أدائها المتميز في قطاعها على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: تحليل الاهتزازات؛ الصيانة التنبؤية؛ مراقبة الحالة؛ الآلات الدوارة؛ الاختبارات غير المتلفة

Résumé :

Face à l'impératif d'améliorer la fiabilité de son parc de machines tournantes (moteurs, pompes, compresseurs, ventilateurs) et de réduire les arrêts de production non planifiés, l'entreprise ALFAPIPE Ghardaïa a mis en œuvre une stratégie de maintenance prévisionnelle fondée sur l'analyse vibratoire. Cette initiative s'inscrit dans une démarche d'optimisation des coûts de maintenance et d'amélioration de la productivité.

L'implémentation de l'analyse vibratoire chez ALFAPIPE Ghardaïa représente une modernisation stratégique de sa politique de maintenance. En s'appuyant sur des données tangibles pour piloter les interventions, l'entreprise évolue vers une gestion plus fiable, économique et compétitive de son patrimoine industriel, assurant sa performance durable dans son secteur d'activité.

Mots-clés : Analyse vibratoire ; Maintenance prédictive ; Surveillance conditionnelle ;
Machines tournantes ; Contrôle non destructif.

Abstract:

Faced with the imperative to improve the reliability of its rotating machines (motors, pumps, compressors, fans) and reduce unplanned production downtime, ALFAPIPE Ghardaïa has implemented a predictive maintenance strategy based on vibration analysis. This initiative is part of a broader effort to optimize maintenance costs and improve productivity.

The implementation of vibration analysis at ALFAPIPE Ghardaïa represents a strategic modernization of its maintenance policy. By relying on tangible data to guide interventions, the company is moving towards more reliable, economical, and competitive management of its industrial assets, ensuring its long-term performance in its sector.

Keywords: Vibration analysis; Predictive maintenance; Condition monitoring; Rotating machinery;
Non-destructive testing

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	I
Dédicace	II
Résumé	IV
Liste des figures	V
Liste des tableaux	V
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les machines de production des pipelines

I.1 Introduction	4
I.2 Historique	4
I.3 Organigramme de l'usine	5
I.4 Développement de TUS Ghardaïa	6
I.5 Présentation générale de l'unité de production des pipes	6
I.5.1 Domaine d'activité.....	6
I.5.2 Etude de la production des tube	6
I.5.3 Les normes de fabrication de tube	6
I.5.4 Les équipements.....	7
I.6 Schéma synoptique du procédé de fabrication	8
I.7 La machine grenailleuse intérieure	9
I.7.1 Dimensions des tubes en acier	9
I.7.2 Spécifications des tubes traités	10
I.7.3 Tolérances sur tubes	10
I.7.4 État de la surface de tubes	10
I.7.5 Utilitaires et consommables	11
I.7.6 Conditions environnementales	11
I.7.7 Capacité de production	12
I.8 Principe de fonctionnement d'une ligne de grenaillage interne des tubes	12
I.8.1 Grenailleuse intérieure	12
I.8.2 Filtres dépoussiéreurs	16

Chapitre II : Maintenance industrielle et contrôle non destructif

II.1. Introduction	20
II.2. Maintenance industrielle	20
II.2.1 Objectifs de la maintenance	20
II.2.2. Les Méthodes de la maintenance	21

II.2.3. Opérations de la maintenance préventive	22
II.2.4. Temps de la maintenance	23
II.3. Contrôle non destructif (CND)	23
II.3.1. Définition et principes	23
II.3.2. Objectifs du CND	24
II.3.3. Techniques de CND	24
II.3.4. Avantages et limites de chaque technique	26
II.3.5. Intégration du CND dans la stratégie de maintenance	29
II.3.6. Choix des techniques selon les besoins	29
II .4 Conclusion	29
Chapitre III : Contrôle des machines de production des pipelines par l'analyse vibratoire	
III .1 Introduction	31
III .2 Définition d'une vibration	31
III .3 Objectifs d'analyse vibratoire	31
III .4 Caractéristiques d'une vibration	31
III .5 Les différentes formes de vibration	32
III .5.1 Vibrations harmoniques	32
III .5.2 Vibrations périodiques	32
III .5.3 Vibrations apériodiques	33
III .6 Les capteurs de détection de vibration	33
III .6.1 Les proximètres	33
III .6.2 Les Vélocimétries / capteurs de vitesse	34
III .6.3 Les accéléromètres	34
III .7 Défauts des machines tournantes	35
III .7.1 Déséquilibre (défaut de balourd)	35
III.7.2 Défaut d'alignement	36
III .7.2.1 Définition	36
III .7.2.2 Désalignement d'arbres accouplés	36
III .7.3 Défaut de serrage	36
III .7.4 Défauts de transmission par courroies	36
III .7.5 Les défauts des engrenages	37
III .7.6 Les défauts de roulements	38
III .8 Choix des seuils vibratoire	38
III .8.1 Seuil de vitesse vibratoire	38
III.9 Le but de travail	40

III.10 Définition de l'aspirateur centrifuge	40
III.11 Le rôle L'aspirateur centrifuge	41
III.12 Constitution de l'aspirateur centrifuge	42
III.13 Principe de fonctionnement de l'aspirateur centrifuge	43
III.14 Capteur de vibration	44
III.14.1 Caractéristiques techniques de l'accéléromètre	44
III.15 VIBROTEST 60F (marque Brüel & Kjær)	45
III.15.1 Caractéristiques techniques	45
III.16 Emplacement de point de mesure	45
III.17 Niveaux vibratoires de l'aspirateur centrifuge (groupe 1)	46
III.18 Conclusion	47
Conclusion générale	48

Liste des figures :

Chapitre I : Généralités sur les machines de production des pipelines

Figure I. 1 : Situation géographique d'ALFAPIPE Ghardaïa	4
Figure I. 2: Organigramme de l'usine	5
Figure I. 3: Schéma synoptique du procédé de fabrication	8
Figure I. 4: Machine étudiée (Grenailleuse Intérieure)	9
Figure I. 5 : Vue de dessus de la grenailleuse intérieure [2]	13
Figure I. 6: L'application de grenaillage intérieur	13
Figure I. 7 : Vue de face de l'unité de grenaillage intérieur [2]	15
Figure I. 8 : Vue de côté de l'unité de grenaillage intérieur [2]	15
Figure I. 9: La lance et Turbine de grenaillage	16
Figure I. 10: Principe de fonctionnement du filtre dépoussiéreur du tamis [2]	17
Figure I. 11: Filtre dépoussiéreur principal de la grenailleuse intérieure [2]	17

Chapitre II : Maintenance industrielle et contrôle non destructif

Figure II. 1 : Type de maintenance	21
Figure II. 2 : Principe de la radiographie	26
Figure II. 3 : Processus mis en jeu lors d'un examen visuel	27
Figure II. 4 : Poussières magnétiques et appareils de magnétisation	28

Chapitre III : Contrôle des machines de production des pipelines par l'analyse vibratoire

Figure III. 1 : Vibration harmonique [18]	32
Figure III. 2 : Vibration périodique [18]	33
Figure III. 3 : Vibration apériodique [18]	33
Figure III. 4 : Proximètre [18]	33
Figure III. 5 : Vélocimétrie [18]	34
Figure III. 6 : Accéléromètre [18]	35
Figure III. 7 : Balourd dynamique [17]	35
Figure III. 8 : Balourd statique [17]	35
Figure III. 9 : Défauts d'alignement d'arbres [17]	36
Figure III. 10 : Transmission poulies courroies [21]	36
Figure III. 11 : Différents types d'engrenage [17]	37
Figure III. 12 : L'usure des engrenages a) usure par interférence. b) usure abrasive	37
Figure III. 13 : Grippage a) à froid, b) à chaud	37
Figure III. 14 : Principaux éléments constitutifs d'un roulement. [23]	38
Figure III. 15 : Normes ISO 10816 [23]	39
Figure III. 16 : La norme concernant les 3 principaux groupes machine	39

Figure III. 17: Aspirateur centrifuge	40
Figure III. 18 : Schéma d'installation intérieure et extérieure [24]	41
Figure III. 19: L'aspirateur centrifuge [24]	42
Figure III. 20: ACCÉLÉROMÈTRE TYPE 4535-B [25]	44
Figure III. 21 : VIBROTEST 60F (marque Brüel & Kjær) [25]	45
Figure III. 22: Direction des mesures	46
Figure III. 23 : Niveaux vibratoires (la norme ISO 10816)	46

Liste des tableaux :

Chapitre I : Généralités sur les machines de production des pipelines

Tableau I. 1 : Domaine d'activité	6
Tableau I. 2 : Dimensions des tubes en acier	9

Chapitre III : Contrôle des machines de production des pipelines par l'analyse vibratoire

Tableau III.1 : Causes de dégradation des roulements [17]	38
Tableau III.2 : Constitution de l' installation de L'aspirateur centrifuge [24].....	42

Introduction générale

Introduction générale

Dans un environnement industriel concurrentiel, les entreprises dépendent fortement de la capacité de leurs équipements de production à être disponibles en tout temps, à être fiables et sécuritaires à tout moment. En ce sens, c'est un axe majeur pour accroître la productivité, réduire les coûts et assurer la continuité des procédés.

Les entreprises industrielles ont traditionnellement appliqué deux stratégies jusqu'à présent, à savoir la maintenance corrective et la maintenance préventive. Ces deux stratégies présentent néanmoins des limites : arrêts imprévus à la première et prix élevés pour des réparations coûteuses à la seconde. C'est la raison pour laquelle la maintenance prévisionnelle est actuellement considérée comme une telle solution, avec le principe sous-jacent de réaliser des tests sur l'état des machines.

La détection de défaillance par la méthode de l'analyse vibratoire est extrêmement critique en maintenance prévisionnelle. Elle est utilisée principalement sur les machines tournantes telles que les moteurs, réducteurs, pompes, ventilateurs, etc. Il permet au service de maintenance de détecter les défauts mécaniques et cinétiques de la machine avant qu'ils n'aient une chance d'endommager ou de provoquer des pannes flagrantes.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce mémoire de Master en Maintenance Industrielle,

Dans ce cadre, le principal objectif de ce travail se résume à : proposer et mettre en pratique une stratégie de la maintenance prévisionnelle basée sur l'analyse vibratoire, convenant aux besoins industriels de l'entreprise ALFAPIPE Ghardaïa en s'appuyant fortement sur son concept en le spécialisant dans une start-up de la maintenance intelligente.

La méthodologie suivie dans cette étude était de débiter avec une appréciation théorique des deux notions de la maintenance industrielle, particulièrement l'analyse vibratoire, pour passer ensuite à une étude pratique sur le champ des machines tournantes réelles. Ses résultats vont permettre de juger sur l'efficacité de la stratégie adoptée sur la base des indicateurs de la fiabilité, de la réduction des coûts et de la performance industrielle.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres.

Chapitre I : Généralités sur les machines de production des pipelines.

Chapitre II : Maintenance industrielle et contrôle non destructif.

Chapitre III : Contrôle des machines de production des pipelines par l'analyse vibratoire.

CHAPITRE I

Généralités sur les machines de production des pipelines

CHAPITRE I : Généralités sur les machines de production des pipelines

I.1 Introduction

L'entreprise que nous avons sélectionnée est la compagnie ALFAPIPE (GHARDAIA). Située dans la zone industrielle de Bounoura à Ghardaïa, à seulement 10 km du centre administratif de la wilaya, l'usine s'étend sur une superficie de 23 000 m² et emploie généralement près de 900 personnes.

L'entreprise est spécialisée dans la fabrication et la vente de tubes soudés en spirale pour les constructions de pipelines (oléoducs, gazoducs), ainsi que pour les infrastructures de transfert d'eau et les travaux publics.

I.2 Historique

Les gisements de pétrole et de gaz sont situés près de Hassi R'mel et Hassi Messaoud, la seule Tuberie spirale d'El-Hadjar (Annaba) ne peut répondre aux importantes exigences de SONATRACH concernant le transport des hydrocarbures. On a pris la décision de mettre en place cette seconde unité.

Le début de la construction de l'unité a eu lieu en avril 1974 grâce à une entreprise allemande. Elle a été mise en production en 1977 avec une capacité annuelle de 120000 tonnes, ce qui équivaut à 375 km de tube d'un diamètre de 42 pouces. Les équipements présents dans cette usine ont la capacité de fabriquer des tubes ayant un diamètre variant de 16 à 64 pouces, une épaisseur allant de 7,92 à 15 mm, et une longueur s'étendant de 7 à 13 m. Les bobines sont acheminées par train d'Annaba à Touggourt où elles sont entreposées dans un dépôt pouvant contenir 40000 tonnes, puis elles sont transférées par camion SNTR jusqu'à GHARDAIA (350 km). Le transport est un moyen de réduire un point de congestion qui entrave parfois les paramètres de production. [1]



Figure I. 1 : Situation géographique d'ALFAPIPE Ghardaïa

I.3 Organigramme de l'usine

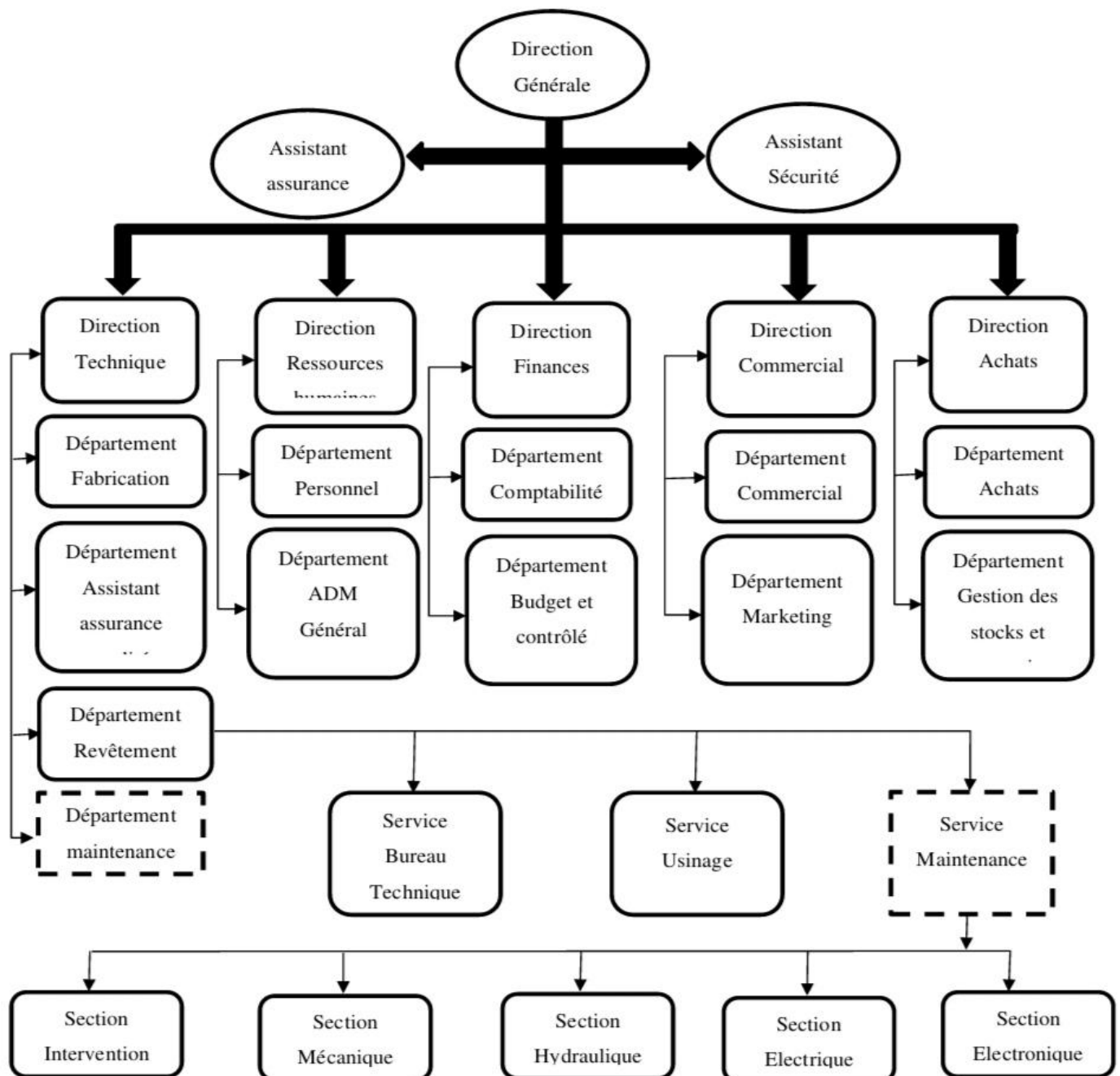


Figure I. 2 : Organigramme de l'usine

I.4 Développement de TUS Ghardaïa

La construction de la SNS (société nationale de sidérurgie) à Ghardaïa a débuté en 1974. L'unité de production d'une capacité de 125000 t/an, soit l'équivalent de 375 km, a été mise en service après deux ans. Afin d'améliorer ces produits, la SNS a procédé à une extension en 1992.

Elle a lancé les deux unités de revêtement, intérieure et extérieure. Suite à cette formation, elle a pu produire des tubes pour gazoduc et oléoduc. Après la réorganisation des entreprises, elle s'est transformée en SNTTP (Société Nationale de Traitement des Produits Plats) du groupe ANABIB, avec son siège à Alger. En 2001, elle a été transformée en PIPE GAZ, une filiale d'ANABIB, et en 2006, elle a été rebaptisée TUS Ghardaïa, devenant ainsi l'équivalent de TUS Annaba ; toutes deux sont des filiales d'ALFAPIPE.

Jusqu'en 1999, toutes les unités ont été ordonnées via des technologies filaires. Ils ont procédé à l'automatisation de l'unité de production et de celle de finition extérieure. Et en 2003, ils ont modernisé les automates des quatre machines de soudure. [1]

I.5 Présentation générale de l'unité de production des pipes

I.5.1 Domaine d'activité

La mission de la société ALFAPIPE consiste à convertir les bobines et produits plats en tubes spirales pour le transport du pétrole, du gaz, de l'eau et divers autres liquides sous haute pression.

Tableau I. 1 : Domaine d'activité

Pipeline	Hydraulique
- oléoducs (transport du pétrole)	- soutien puits.
- gazoducs (transport du gaz)	- assainissement
	- drainage.
	- transport d'eau.
	- alimentation en eau potable.

I.5.2 Etude de la production des tubes

Les équipements de l'usine ont la capacité de fabriquer des tubes dont le diamètre peut varier entre 16 et 64 pouces, tandis que la nouvelle machine peut produire des tubes de 20 à 80 pouces. Quant à l'épaisseur, elle peut varier de 7 mm à 16 mm pour les machines existantes et de 6.34 mm à 25.4 mm pour la nouvelle machine. Enfin, la longueur maximale est de 13 mètres, ce qui permet une large gamme de bobinage. sont fabriqués en acier de la nuance variant de X35 à X70.

I.5.3 Les normes de fabrication de tube

À l'exception des exemptions ou des demandes spécifiques mentionnées dans cette spécification et/ou la commande, tous les tubes seront strictement vérifiés selon les normes de l'API (American Petroleum Institute Standards).

-API 5L : norme pour tube de ligne, 44ème édition.

-API Q1 : Les tubes de ligne doivent répondre à API 5L ; le système qualité peut être conforme à API Q1 si l'entreprise y est certifiée.

ASME: American Society for Mechanical Engineers Section C : Exigences pour baguettes d'apport, électrodes et métaux d'apport.

ASNT : American Society for Non-Destructive Testing ASNT - SNT-TC-1A, Directives recommandées pour la qualification et la certification du personnel effectuant des contrôles non destructifs.

I .5.4 Les équipements

La production de tubes en spiralés exige des travailleurs hautement qualifiés ainsi que d'importants équipements. C'est pourquoi ALFAPIPE dispose des machines suivantes:

- Les machines de préparation des bobines.
- Quatre machines à souder (considérées comme d'anciennes machines).
- La nouvelle machine à souder.
- Deux installations de nettoyage de tubes.
- Deux zones de reprise de soudure.
- Dispositif d'oxycoupage.
- Contrôle radioscopie et radiographie.
- Installation de chanfreinage.
- Banc d'essai hydrostatique.
- Grenailleuse extérieure.
- Installation de revêtement extérieur.
- Grenailleuse intérieure.
- Installation de revêtement intérieur.
- Des convoyeurs qui assurent les déplacements des tubes.
- Des ponts roulants pour différent poids 15T, 34T.

I.6 Schéma synoptique du procédé de fabrication

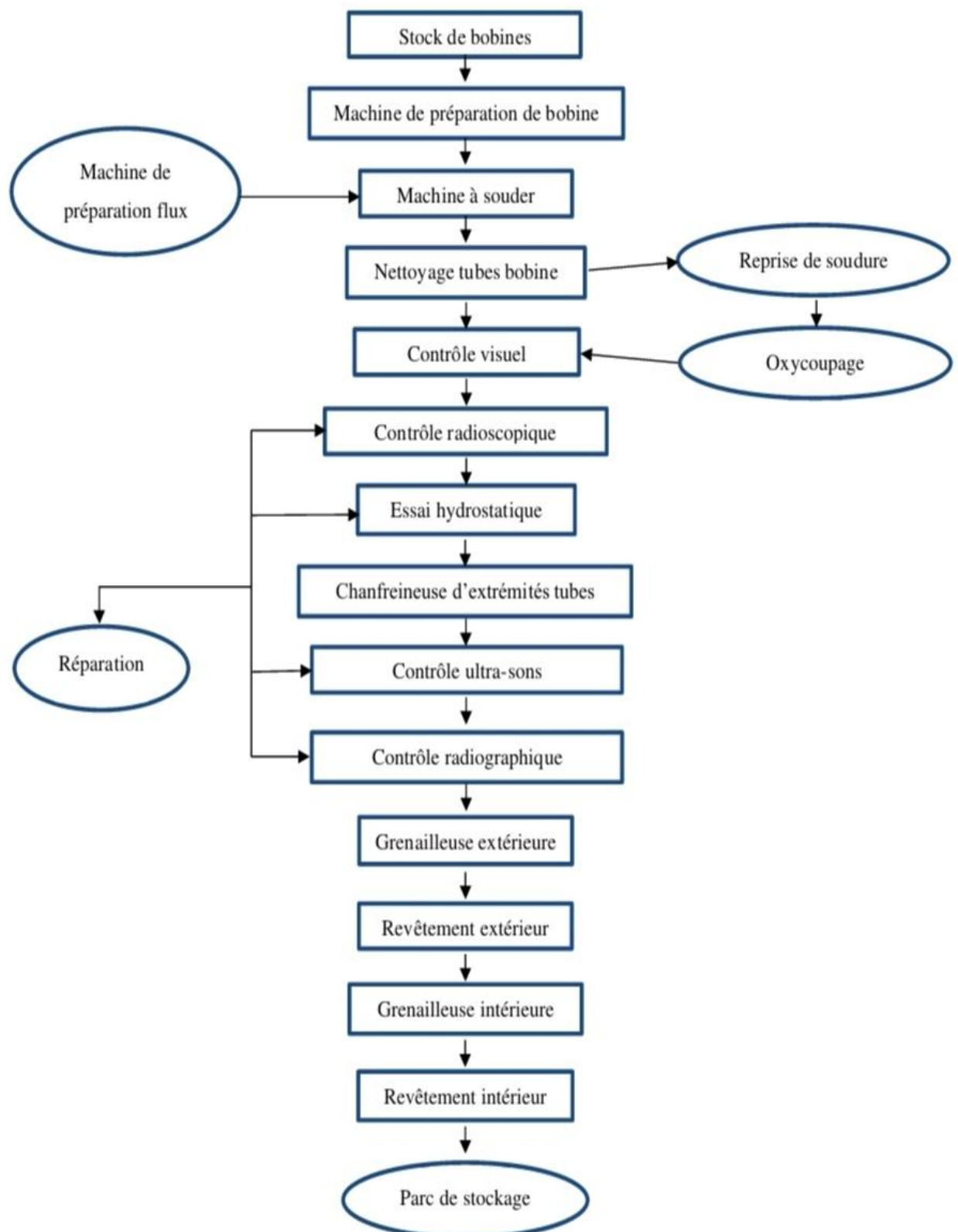


Figure I. 3 : Schéma synoptique du procédé de fabrication

I.7 La machine grenailleuse intérieure

Fabriqué par :	Selmers BV Biesland 3 1948 RJ BEVERWIJK Boîte postale 628 1940 AP BEVERWIJK PAYS-BAS
Conçu pour :	Alfapipe / Tuberie De Ghardaïa BP 78, Zone Industrielle BOUNOURA 47000 GHARDAIA ALGÉRIE
Année de fabrication :	2014



Figure I. 4 : Machine étudiée (Grenailleuse Intérieure)

I.7.1 Dimensions des tubes en acier

Tableau I. 2 : Dimensions des tubes en acier

Gamme de diamètres des tubes	Longueur des tubes	Épaisseurs nominales de paroi
Lance A : 85/8" à 16" (219 - 406 mm)	Minimum : 7 mètres	Minimum : 7,92 mm
Lance B : 18" à 30" (457 - 762 mm)	Maximum : 16 mètres	Maximum : 25,4 mm

I.7.2 Spécifications des tubes traités

- Qualité des tubes selon les normes : API 5L.
- Nuance acier maximale : X-80.
- Cordon de soudure : 3 mm max pour les tubes en hélice.
- Extrémités des tubes : Traitement mécanique, avec extrémité lisse ou chanfrein de soudage, ou les deux extrémités sont chanfreinées de 30° ou 35°, selon API Q1. [2]

I.7.3 Tolérances sur tubes

Il est impératif que les tubes à traiter respectent les normes de la Section 6, qui stipule les dimensions, le poids et les longueurs conformément aux spécifications API 5L.

➤ Rectitude :

La déviation des tubes ne doit pas dépasser 1,5 mm pour chaque mètre de longueur du tube. L'angle total de courbure ne doit pas dépasser 1% du diamètre du tube.

➤ Ovalisation :

L'ovalisation des tubes ne doit dépasser ni diminuer de plus de 1% par rapport au diamètre nominal.

➤ Cordons de soudures :

Les soudures doivent présenter une forme uniforme avec une transition progressivement lissée vers le corps du tube, et il ne doit surtout pas y avoir de parties tranchantes. Il ne faut pas que l'épaisseur des cordons de soudure dépasse les valeurs suivantes :

- Pour épaisseur jusqu'à 8 mm : max. 2.5 mm
- Pour épaisseur de 8 jusqu'à 14 mm : max. 3 mm
- Pour épaisseur plus de 14 mm : max. 4 mm

I.7.4 État de la surface de tubes

Les nouveaux tubes, une fois transportés depuis l'unité de production ou un stockage éventuel en extérieur, sont acheminés pour le processus de revêtement.

Les tubes apportés à l'atelier de traitement de surface ont des surfaces extérieures et intérieures à traiter. Elle peut être exposée à la rouille, à la calamine ou autres contaminants (dans des proportions habituelles). Avant de placer le tube sur le convoyeur de revêtement, il est impératif d'éliminer toutes substances organiques ou poussières collantes présentes à l'intérieur du tube.

Les tubes doivent être totalement secs et leur surface doit être libre de fissures, d'impacts, de laminages, de sels, d'huiles et/ou de graisses ou d'autres contaminants. Si une accumulation excessive de poussières diverses est constatée sur ou à l'intérieur du tube, un nettoyage sera nécessaire avant leur acheminement vers les différents ateliers de finition.

La température du tube peut fluctuer de +15°C à +40°C sur l'ensemble de la surface, mais doit, en toute circonstance, être supérieure de 5°C au point de rosée et doit être totalement exempte d'humidité. Le niveau de propreté des surfaces internes et externes des installations au stade initial doit être le degré A, conformément à la norme SIS 055900 (Suède) ou ISO 8501. [2]

I.7.5 Utilitaires et consommables**Puissance électrique :**

- Tension : 400 V CA + / - 5%
- Fréquence : 50 Hz + / - 1%

3 phases avec neutre et terre.

Air comprimé :

- Pression de service : 6 - 7 Bar
- Qualité requise : Selon la norme ISO 8573/1 :

- Classe 3 (teneur en impuretés)

- Classe 4 (teneur en eau)

- Classe 3 (teneur en huile)

- Point de rosée sous pression : + 4 °C

L'huile hydraulique :

- qualité générale : Selon ISO 4406 : classe 18/15

(130000 à 250000 particules > 5µm et 16000 à 23000 particules > 15µm)

- qualité pour la grenailleuse intérieure : Selon ISO 4406 : classe 16/13

(32000 à 64000 particules > 5µm et 4000 à 8000 particules > 15µm)

L'huile recommandée général est ISO VG 46 HVLP.

L'huile recommandée pour la grenailleuse intérieure est ISO VG 68 HVLP.

Abrasif:

GP 40

Fabrication recommandée: Wheelabrator Allevard (France)

Huile et graisse :

Comme spécifié dans les consignes d'entretien

I.7.6 Conditions environnementales

On procédera à l'installation des équipements dans un édifice.

Conditions météorologiques à l'intérieur de la structure :

- Température minimum : - 1 °C
- Température maximum : + 52 °C
- Humidité max. relative en hiver : 75%

I.7.7 Capacité de production

La capacité de production hypothétique de la flèche de grenaillage intérieur, fondée sur une longueur de tube de 13 mètres et un niveau initial de rouille A (conformément à la norme SIS055900), avec un niveau de traitement Sa 2 1/2, est estimée à :

- La flèche de grenaillage « petite » permet une couverture maximale de 70 à 135 m²/h ; elle est adaptée pour les diamètres 8⁵/₈" - 16".
- La flèche de grenaillage « moyenne » offre une superficie maximale de 250 à 300 m²/h, et peut atteindre jusqu'à 300 à 350 m²/h pour la gamme des diamètres 24" - 30".
- La flèche de grenaillage « grand » a une capacité maximale allant jusqu'à 400 à 600 m²/heure dans la gamme de 32" à 80".

Toutes les valeurs de production se basent sur :

- Une qualité et une régularité excellentes des tubes.
- Une qualité, une forme et une hauteur adéquates du cordon de soudure du tube.
- L'emploi de grenaille appropriée.
- L'emploi des équipements par un personnel compétent et chevronné.
- Un entretien approprié des équipements et des conditions d'exploitation locales standards.
- La capacité de grenaillage ne prend pas en compte les temps de repositionnement des équipements et de manutention des tubes.
- Si les tubes présentent un degré d'ovalisation trop élevé et/ou ne sont pas droits ou ont une longueur inférieure à 15 mètres, la capacité de production diminuera.

I.8 Principe de fonctionnement d'une ligne de grenaillage interne des tubes

La ligne de grenaillage interne est constituée des éléments suivants :

- Grilles d'entrée équipées d'un système stop-éjecteur.
- Unités de rotation comportant un bras récepteur et un bras éjecteur.
- Machine de grenaillage interne.
- Filtres pour l'élimination de la poussière.

Le tube est fourni sur les grilles d'entrée, puis positionné sur les unités de rotation grâce à l'arrêt d'éjection et au bras récepteur.

Les deux cabines sont disposées aux extrémités du tube. Puis, l'intérieur du tube est soumis à un grenaillage intérieur par l'unité de grenaillage. Le grenaillage élimine la rouille et les impuretés, tout en créant une rugosité de surface appropriée pour le traitement suivant.

Suite au processus de grenaillage, le tube est correctement placé et déposé sur les grilles de sortie grâce à l'action du bras éjecteur.

I.8.1 Grenailleuse intérieure

Le système de grenaillage intérieur est constitué de deux unités rotatives, d'un chariot de lance accompagné d'une lance de grenaillage (flèche), ainsi que d'un dispositif d'approvisionnement, de recyclage et de nettoyage d'abrasif (voir Figure 1.8 et Figure 1.9).

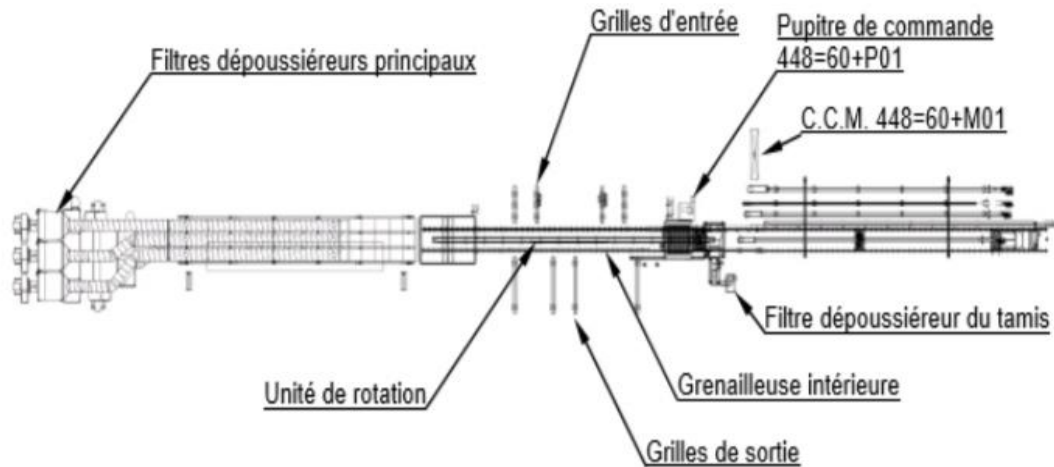


Figure I. 5 : Vue de dessus de la grenailleuse intérieure [2]



Figure I. 6 : L'application de grenailage intérieur

Trois dimensions de lance de grenailage sont incluses avec le matériel. La petite lance est équipée d'une petite turbine de grenailage (avec un diamètre de 160 ou 200 mm), adaptée aux tubes dont le diamètre varie de 85/8" à 16" (219 - 406 mm).

À partir de maintenant nous référerons à cette lance comme la lance 85/8" à 16" ou Lance A. La lance moyenne et la lance grande sont équipées d'une turbine de grenailage de grande taille (diamètre variant de 315 à 500 mm pour la lance moyenne et atteignant 500 mm pour la lance grande). La lance moyenne convient aux tubes ayant un diamètre de 18" à 30" (457 - 762 mm).

Désormais, nous désignerons cette lance sous le nom de Lance 18" à 30" ou Lance B. La grande lance convient pour les tubes ayant un diamètre de 32" à 80" (813 - 2032 mm). Dorénavant, nous désignerons cette lance sous le nom de lance 32" à 80".

Une fois que le tube est positionné sur les unités de rotation grâce au limiteur de tube et au bras récepteur, la cabine du chariot porteur et la cabine à poussière sont installées aux extrémités du tube.

Le processus de grenaillage ne peut débuter que lorsque les cabines recouvrent l'extrémité des tubes, il est donc impossible de grenailler en dehors de la cabine.

Par la suite, le chariot de lancement transporte la lance de grenaillage munie de la tête de grenaillage à travers le tube. Le grenaillage peut être effectué durant la course avant, la course arrière ou les deux.

L'abrasif est acheminé de la réserve d'abrasif jusqu'à la tête de grenaillage via un tapis roulant de petite taille installé sur la lance. L'abrasif est quantifié par les valves de distribution d'abrasif et déposé sur le tapis roulant via l'approvisionnement en abrasif. La roue de grenaillage projette l'abrasif à l'intérieur du tube.

Lorsque l'on utilise une lance de 18" à 30" ou une lance de 32" à 80" pour grenailler des tubes de diamètre 18" (457 mm) et plus, il est nécessaire que le tube tourne pendant le processus de grenaillage. En raison de la rotation du tube et de la force exercée par le mouvement de la lance à l'intérieur du tube, le tube se déplacera toujours en faisant de petits pas. Pour maîtriser cet effet, on ajuste les roues d'une unité de rotation à un angle faible afin de contrebalancer tout déplacement axial du tube. Lorsque le tube se déplace excessivement, un soufflet pneumatique est utilisé pour inverser l'angle, provoquant ainsi un mouvement inverse du tube.

Le filtre dépoussiéreur principal aspire l'abrasif, la rouille et autres particules hors du tube.

Dans la cabine de sablage, l'abrasif et la poussière dense sont séparés de l'air et se déposent sur le tapis de recyclage. Le filtre dépoussiéreur capte la poussière présente dans l'air.

L'abrasif est acheminé du cabanon à poussière au tamis par le système de convoyage de recyclage, la vis d'alimentation et l'élévateur.

Il passe à travers le tamis où il est filtré, séparé de la pollution par les mailles du tamis. Par la suite, l'abrasif est dirigé à travers un flux d'air qui aspire les particules plus légères et la poussière. Les particules se déposent dans un tube de collecte. L'abrasif, une fois nettoyé, est déposé dans le silo et est prêt pour une nouvelle utilisation. Le filtre dépoussiéreur purifie l'air.

Lorsque le grenaillage est prêt, la lance est repositionnée à l'extrémité arrière et les cabines du chariot de support ainsi que la cabine à poussière sont retirées des extrémités des tubes. Par la suite, les chariots de rotation déplacent le tube vers l'emplacement fixe de sortie. Les bras de projection transfèrent le tube vers les grilles intermédiaires.

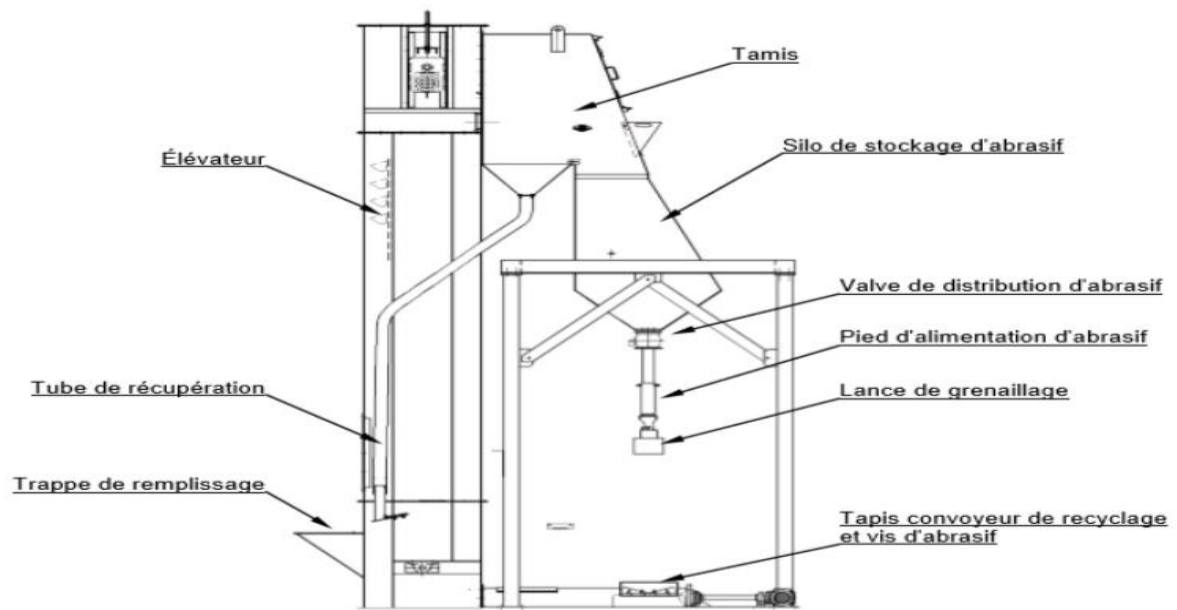


Figure I. 7 : Vue de face de l'unité de grenaillage intérieur [2]

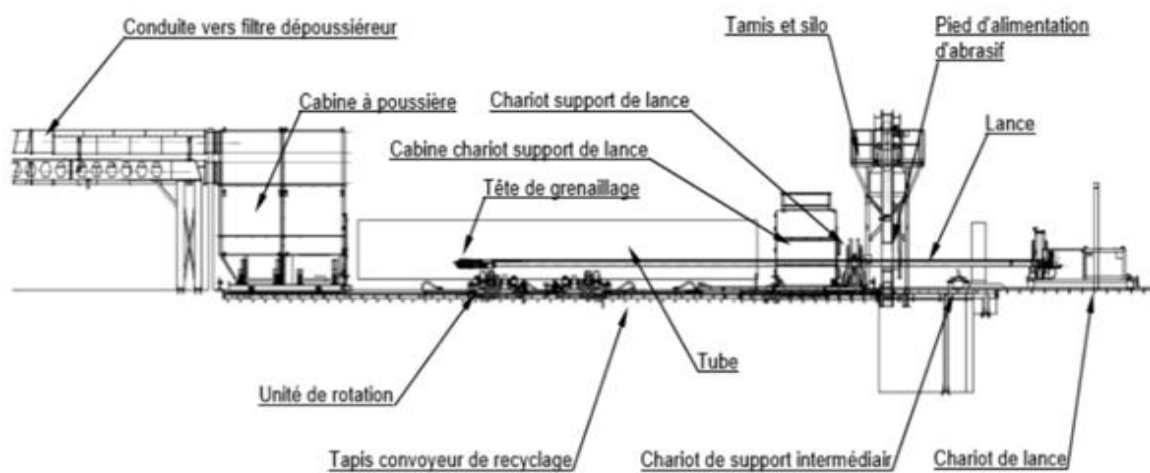


Figure I. 8 : Vue de côté de l'unité de grenaillage intérieur [2]



Figure I. 9 : La lance et Turbine de grenailage

I .8.2 Filtres dépollueurs

Le filtre anti-poussière tire l'air chargé de poussière et purifie l'air en éliminant la poussière et les particules fines.

Les filtres dépollueurs possèdent des filtres à cartouche qui peuvent être changés.

Le filtre dépollueur aspire l'air chargé de poussière à travers les filtres à cartouche grâce à un ventilateur connecté. La poussière est soit de la rouille, soit de la saleté, et elle est non utilisable et doit être éliminée. Au cours du processus de filtration, la poussière se dépose sur la surface externe des filtres à cartouche. Pour le nettoyage des filtres à cartouche, une impulsion d'air comprimé est régulièrement projetée en sens inverse à travers les filtres. Donc, la poussière accumulée se dépose du filtre à cartouche dans un réceptacle de collecte. De ce fait, seul un filtre à cartouche est nettoyé, garantissant ainsi le fonctionnement ininterrompu du dépollueur.

L'air est libéré par une soupape à diaphragme positionnée juste après chaque filtre. cartouche. Une valve à diaphragme est activée par une valve magnétique gérée par un minuteur.

La poussière, constituée de matières non utilisables, est collectée dans un conteneur de poussière installé sous la trémie.

Près de la grenailleuse intérieure, six filtres dépollueurs sont installés : un petit et cinq de grande taille.

Ce petit filtre, qui est connecté au tamis, sert à purifier l'abrasif.

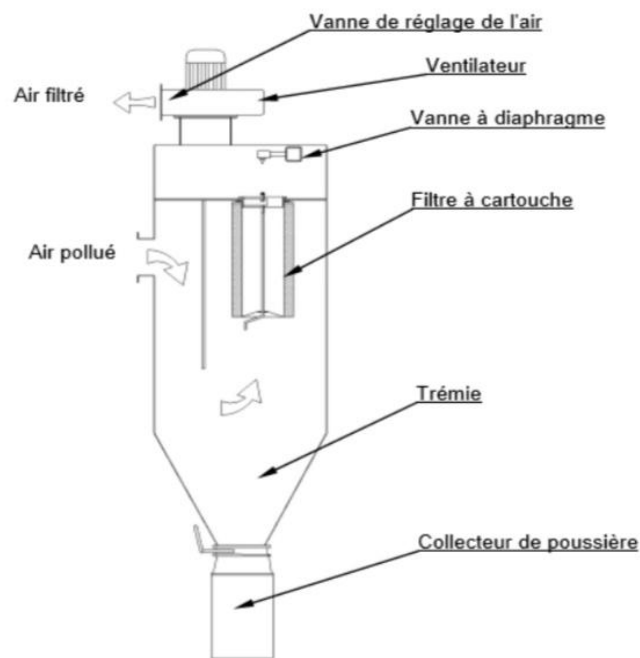


Figure I. 10 : Principe de fonctionnement du filtre dépoussiéreur du tamis [2]

Le ventilateur de cet appareil de filtration est fixé directement sur la structure du filtre dépoussiéreur. Un dispositif de réglage de l'air est installé immédiatement en aval du ventilateur. Ce filtre dépoussiéreur possède trois cartouches filtrantes disposées verticalement dans sa structure Cabin.

Le filtre dépoussiéreur principal sert à extraire l'abrasif du tuyau pendant le processus de grenaillage, en générant un important flux d'air à l'intérieur du tuyau.

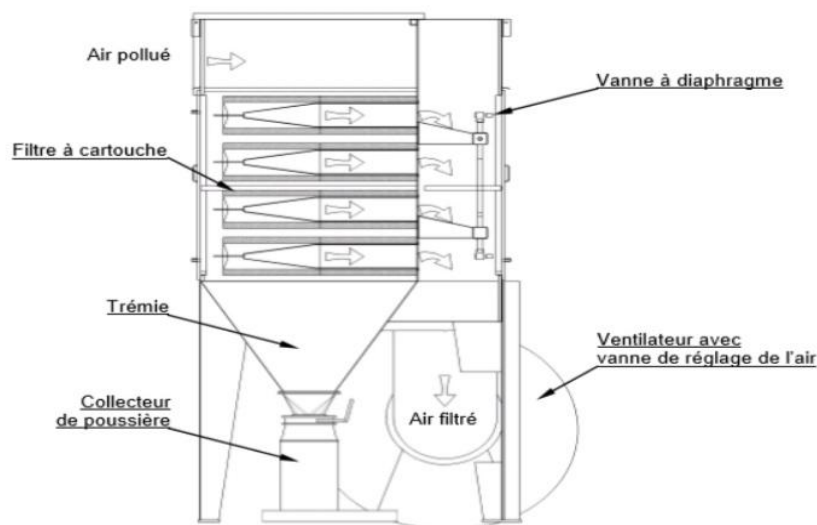


Figure I. 11 : Filtre dépoussiéreur principal de la grenailluse intérieur [2]

Dans la cabine à poussière installée en amont du filtre dépoussiéreur, l'air est purifié de l'abrasif et des particules lourdes. De ce fait, seul l'air chargé de poussière est aspiré vers le filtre dépoussiéreur. Le ventilateur est installé au sol et relié à la cabine de filtre par un tuyau.

Équipement pour enlever la poussière. Un dispositif de contrôle de l'air est installé dans le conduit reliant la cabine au ventilateur. Ce dépoussiéreur est muni de 32 filtres de taille standard ou de 16 filtres de longueur doublée, disposés horizontalement dans la cabine.

CHAPITRE II

Maintenance industrielle

et

Contrôle non destructif

Chapitre II : Maintenance industrielle et contrôle non destructif

II.1. Introduction

Actuellement, l'entretien industriel est un élément crucial de la gestion des infrastructures techniques dans les sociétés. Elle englobe toutes les actions techniques, administratives et de gestion destinée à conserver ou à restaurer un objet dans une condition lui permettant d'exercer une fonction primordiale. Ce secteur a progressé d'une simple action corrective à une approche globale qui comprend la maintenance préventive, prédictive et conditionnelle. Il est crucial d'améliorer la maintenance pour assurer la fiabilité des équipements, diminuer les dépenses de production et augmenter la sécurité des opérateurs. [3]

Les Contrôles Non Destructifs (CND) sont des tests physiques destinés à détecter d'éventuelles anomalies dans un composant sans l'endommager ni le détruire, préservant ainsi sa fonctionnalité.

L'objectif des CND est d'identifier les défauts significatifs et de délivrer un jugement d'acceptabilité concernant les pièces inspectées. L'option d'élargir les inspections à toutes les sections d'une structure spécifique aide à éviter les accidents.

C'est ce qui explique la récente grande popularité et ampleur des CND. L'inspection d'un équipement ou d'un produit peut se réaliser non seulement pour identifier les anomalies, mais également pour établir les propriétés physiques, l'étude de la structure et l'analyse de la composition. [4]

II.2. Maintenance industrielle

Selon la norme AFNOR (NF EN 13306), la maintenance regroupe toutes les interventions techniques, administratives et managériales effectuées tout au long du cycle de vie d'un bien, dans le but de le conserver ou de le remettre dans un état apte à remplir sa fonction requise. Une fonction nécessaire est une fonction, ou un groupe de fonctions associées à un produit, considérées comme indispensables pour offrir un service spécifique. [5]

II.2.1 Objectifs de la maintenance

- Supprimer les interruptions et les pertes de production pour assurer la capacité de fourniture.
- Prolonger la longévité des appareils.
- Renforcer la sûreté et la sauvegarde du personnel ainsi que de l'environnement.
- Garantir la qualité et le volume des produits fabriqués, tout en respectant les échéances.
- Améliorer l'efficacité des coûts de maintenance.

II.2.2. Les Méthodes de la maintenance

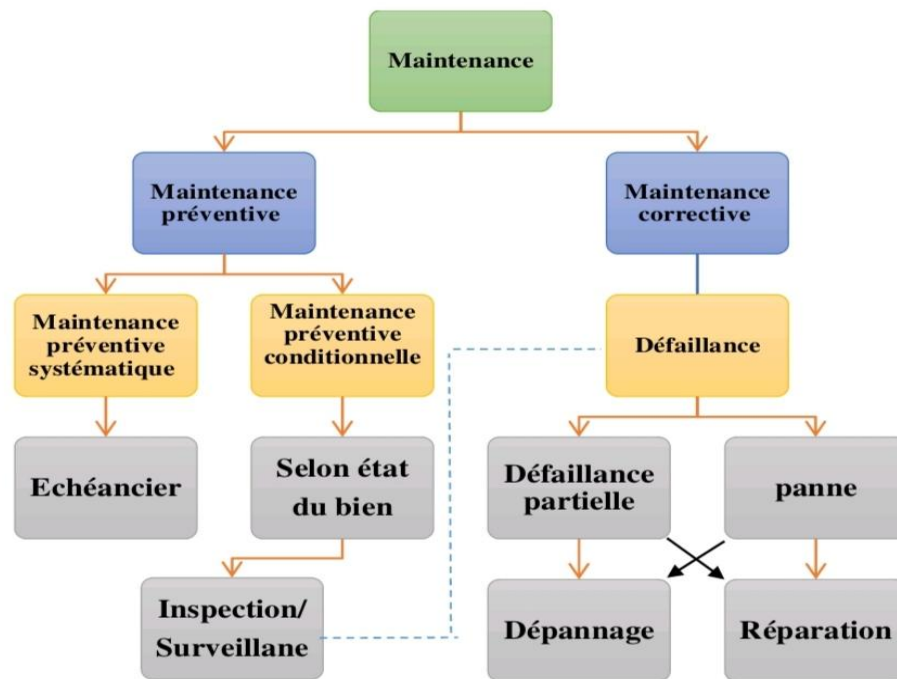


Figure II. 1 : Type de maintenance

➤ Maintenance préventive

C'est l'entretien effectué à des fréquences définies ou en fonction de critères spécifiés, visant à minimiser le risque de panne ou la détérioration des performances d'un équipement. [5]

- **Maintenance préventive systématique**

Il s'agit de la maintenance préventive effectuée à des périodes fixes ou en fonction d'une quantité spécifique d'utilisation, sans toutefois évaluer au préalable l'état du matériel.

- **Maintenance préventive conditionnelle**

Il s'agit d'une maintenance préventive basée sur l'observation du fonctionnement de l'équipement et/ou des paramètres importants liés à ce fonctionnement, y compris les actions qui en résultent.

- **Maintenance préventive prévisionnelle**

Il s'agit d'une maintenance préventive conditionnelle réalisée en se basant sur les projections extrapolées issues de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la détérioration du bien.

➤ Maintenance corrective

Il s'agit de l'entretien effectué suite à la découverte d'un dysfonctionnement, visant à rétablir un bien dans une condition qui lui permet de remplir une fonction nécessaire. [5]

- **Maintenance palliative**

Solution temporaire pour l'équipement, visant à minimiser les perturbations dans les opérations de l'entreprise. Étant donné la fragilité de cette solution, une intervention corrective doit être effectuée assez rapidement.

- **Maintenance curative**

Correction de la défaillance et restauration du matériel à sa condition d'origine.

- **Maintenance améliorative**

L'amélioration des équipements consiste en une série de mesures techniques, administratives et managériales visant à renforcer la fiabilité d'un équipement sans altérer sa fonction requise. Donc, on fournit des Modifications apportées au design initial pour prolonger la longévité des composants, les standardiser, diminuer la consommation d'énergie, améliorer leur facilité d'entretien, et ainsi de suite...

C'est un soutien précieux si l'on choisit par la suite de développer un appareil réalisant la même fonction, mais avec une technologie moderne : on ne rencontrera plus les problèmes antérieurs. [5]

II.2.3. Opérations de la maintenance préventive

- **Inspection** : Vérification de conformité effectuée par la mesure, l'observation, le test ou l'étalonnage des caractéristiques significatives d'un équipement ; elle permet d'identifier les irrégularités et de procéder à des ajustements simples qui ne nécessitent ni outils spécialisés ni interruption du fonctionnement. Fabrication ou équipement (sans démontage).

- **Contrôle** : Contrôle de la conformité selon des données prédéfinies, suivi d'une évaluation. Cette vérification peut entraîner une intervention de maintenance corrective ou comporter une résolution de rejet, d'approbation ou de report. [6]

- **Visite** : Inspection approfondie et prédéfinie de chaque aspect (inspection générale) ou d'une portion spécifique (inspection limitée) des divers composants d'un appareil, et pouvant nécessiter des interventions de maintenance de premier et second niveau ; elle peut également conduire à une intervention corrective.

- **Test** : Comparaison des réponses d'un système avec celles d'un système de référence ou d'un phénomène physique significatif, afin d'évaluer sa performance correcte.

- **Echange standard** : Conformément aux directives du fabricant, le remplacement d'un élément ou d'un sous-ensemble défectueux par un composant identique, soit neuf ou déjà révisé, est effectué.

- **Révision** : Un ensemble exhaustif d'examen et d'interventions effectuées pour préserver le degré de disponibilité et de sûreté d'un dispositif. On procède généralement à une révision à des intervalles de temps fixés ou après un certain nombre d'opérations. Une mise à jour

sollicite un désassemblage intégral ou partiel. Il ne faut donc pas confondre le terme « révision » avec « surveillance ». Une révision correspond à une intervention de maintenance de niveau. [5]

II.2.4. Temps de la maintenance

➤ MTBF

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

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances (norme X60-500)

$$\textbf{MTBF} = \frac{\text{somme des temps de fonctionne ment entre les (n) defaillance}}{\text{nombre d'interventi on de maintenanc e avec immobilisationn}}$$

➤ MTTR

Est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR). Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

II.3. Contrôle non destructif (CND)

Le Contrôle Non Destructif (C.N.D.) représente un ensemble de techniques qui offrent la possibilité d'évaluer l'intégrité des structures ou des matériaux sans les détériorer ; que ce soit lors du processus de production, pendant leur utilisation ou encore dans le contexte d'opérations de maintenance. On dit que également d'essais ou de contrôles non destructifs (E.N.D.) de tous les tests réalisés dans l'objectif d'obtenir une évaluation sur la condition de toutes les structures.

II.3.1. Définition et principes

Le Contrôle non destructif est une technique d'inspection des produits qui permet d'identifier, de localiser, de mesurer et de caractériser les éventuelles anomalies présentes dans leurs structures.

Dans ce but, nous employons des capteurs qui fonctionnent selon les principes physiques, tels que : l'électromagnétisme, les radiations, la propagation et le champ électrique. [7]

Nous allons examiner un ensemble de paramètres dans le but d'effectuer un diagnostic d'intégrité. La mise en place d'un système de contrôle non destructif adéquat produira une suite de signaux qui dépendent des paramètres requis. Il est souvent essentiel de réaliser une étape d'inversion, dont la complexité peut fluctuer, afin de retrouver les paramètres initiaux de la pièce. [8]

Parmi les principes fondamentaux du CND, on peut citer :

- L'intégrité de l'échantillon inspecté est préservée.
- La détection des défauts (fissures, porosités, inclusions, délaminages).
- Détection et description des anomalies sans recours à une méthode destructrice.

On peut trouver parmi les méthodes conventionnelles de contrôle non destructif :

- **Les ultrasons (UT)** : détection des irrégularités internes par le biais de la réflexion d'ondes acoustiques.

- **La thermographie infrarouge (IRT)** : identification des irrégularités thermiques en quantifiant le rayonnement infrarouge produit par les surfaces.
- **Le ressuage (PT)** : mise en évidence des anomalies de surface par capillarité de liquides teintés ou fluorescents.
- **Les courants de Foucault (ET)** : identification des irrégularités dans les métaux conducteurs.

II.3.2. Objectifs du CND

Le contrôle non destructif vise à évaluer l'état des composants industriels sans que les inspections correspondantes ne compromettent leur usage futur. Cela peut impliquer deux types de vérifications : l'évaluation d'un paramètre inhérent à la pièce, tel que l'épaisseur d'une paroi, la distance à un objet ou les caractéristiques électromagnétiques du matériau ; et l'identification d'une défaillance de ces paramètres.

Dans le second scénario, on fait généralement référence à des défauts tels que des fissures, des inclusions, des porosités, ou encore les conséquences de la corrosion ou de la fatigue mécanique. Ce processus de vérification a généralement lieu à plusieurs reprises pendant la durée de vie d'un élément et doit répondre autant que possible aux critères suivants : [9]

A. Détection des défauts

Les méthodes de contrôle non destructif se basent sur la modification du champ d'une grandeur physique due à une discontinuité. Des processus physiques comme l'affaiblissement ou la diffraction des rayons X, la réflexion ou la diffraction des ultrasons, ainsi que la perturbation des courants de Foucault forment la base des tests non destructifs, qui permettent de caractériser les matériaux. Effectivement, le CND ne se réduit pas à une évaluation d'une grandeur physique, il inclut également un examen de l'uniformité. L'objectif est déterminé par une série de paramètres que nous cherchons à évaluer pour établir un diagnostic d'intégrité.

La mise en place d'un système CND approprié conduira à la production de différents signaux selon les paramètres visés. Un processus d'« inversion » souvent complexe est généralement requis pour revenir aux paramètres originaux de la pièce. [9]

B. Prévention des défaillances

L'évitement des défaillances est un aspect essentiel du Contrôle Non Destructif (CND), en particulier dans les secteurs industriels à haut risque comme les raffineries, les centrales électriques et les infrastructures ferroviaires.

En Algérie, des démarches préventives sont intégrées dans les stratégies de maintenance prédictive, notamment par des entreprises. Grâce à des contrôles réguliers par radiographie, magnétométrie, thermographie ou échographie, il est possible d'identifier l'évolution des défaillances mineures avant qu'elles ne conduisent à des pannes structurelles.

Cette surveillance anticipative réduit non seulement les coupures surprises, mais elle participe également à l'amélioration de la sécurité des travailleurs et de la fiabilité des équipements. Ainsi, le CND s'est transformé en un outil stratégique pour la gestion des risques liés à l'industrie. [10]

II.3.3. Techniques de CND

Les techniques CND diffèrent généralement par l'énergie employée.

1. Contrôle visuel

L'inspection visuelle est la technique la plus élémentaire et couramment utilisée dans les procédures de Contrôle Non Destructif (CND). Cela nécessite un examen visuel d'un composant ou d'une structure afin de repérer des irrégularités de surface telles que les Fissures, déformations, corrosions ou autres anomalies visibles à l'œil nu ou par le biais d'instruments optiques (loupe, caméras, endoscopes).

En Algérie, cette méthode est fréquemment employée lors des inspections initiales, particulièrement dans les domaines de la métallurgie et les lieux de maintenance des chemins de fer. Bien que simple, son efficacité dépend fortement de l'expérience de l'utilisateur, des conditions d'éclairage et de la commodité d'accès à la zone examinée. Elle est souvent utilisée comme étape préliminaire avant l'application de techniques plus avancées. [11]

2. Ultrasons

L'inspection ultrasonore utilise des ondes sonores à haute fréquence pour détecter les irrégularités internes dans les matériaux solides. Cette méthode permet une étude approfondie sans endommager l'élément analysé. On la retrouve souvent dans les secteurs de la pétrochimie et de l'énergie en Algérie, notamment pour le contrôle des soudures, des tuyauteries et des structures métalliques. Elle présente l'avantage de fournir des informations précises sur l'emplacement et les dimensions des défauts internes. [11]

3. Magnétoscopie

La magnétoscopie, aussi appelée contrôle magnétoscopique, est une méthode qui s'appuie sur l'application d'un champ magnétique à un élément ferromagnétique. On peut utiliser les particules magnétiques de petite dimension pour observer les irrégularités de la surface.

Dans les environs de celle-ci, ce qui perturbe le champ magnétique. Cette méthode est particulièrement adaptée aux matériaux métalliques utilisés dans les structures mécaniques tels que les essieux, les roues ou les pièces de suspension. En Algérie, on remarque son emploi dans les ateliers de maintenance dédiés aux chemins de fer et à l'aéronautique. [12]

4. Radiographie

L'imagerie médicale par radiographie est une méthode qui fait appel aux rayons X pour créer des images des structures internes du corps, y compris les os, les organes ainsi que les tissus mous. C'est l'une des techniques les plus anciennes et largement répandues dans l'imagerie médicale. La procédure radiographique consiste à utiliser un dispositif de rayons X qui diffuse un faisceau de rayons X à travers le corps du patient.

Différentes structures corporelles absorbent les rayons X de façon variable, en fonction de leur densité et composition. Par exemple, sur une radiographie, les os sont représentés en blanc puisqu'ils absorbent une plus grande quantité de rayons X, tandis que les tissus mous apparaissent en plus sombre du fait qu'ils absorbent moins de rayons X. [12]

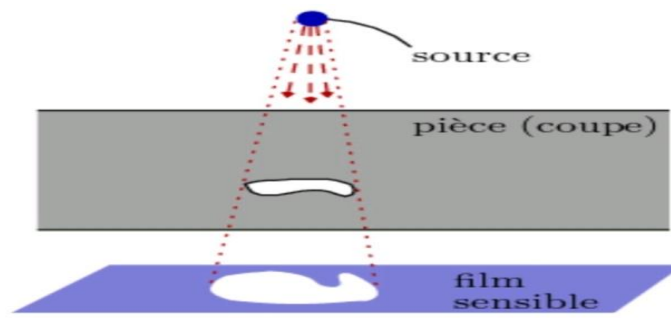


Figure II. 2 : Principe de la radiographie

5. Thermographie infrarouge

La thermographie infrarouge est une méthode de contrôle non destructif basée sur la détection du rayonnement thermique émis par les surfaces. Il permet d'identifier les changements de température qui peuvent révéler des défauts internes ou une surchauffe localisée, souvent invisible à l'œil nu.

Cette technologie est utilisée, par exemple, dans le diagnostic prédictif ou l'analyse de la défaillance des turbines à gaz, en particulier dans le domaine de l'électricité. [13]

6. Ressuage

La technique de ressuage est utilisée pour détecter des défauts de surface invisibles à l'œil nu, comme les microfissures ou les porosités. Elle consiste à appliquer un fluide pénétrant sur la surface de l'objet, suivi d'un révélateur qui permet de souligner les zones où le liquide a pénétré les anomalies. D'après Bensaoula (2018), cette méthode est simple à mettre en œuvre et économique, surtout dans les domaines de la mécanique et de la fabrication d'équipements en Algérie. [13]

II.3.4. Avantages et limites de chaque technique

1. Contrôle visuel

On distingue deux types de contrôle optique : le contrôle manuel (inspection visuelle) et le contrôle automatisé.

La méthode la plus ancienne du CND, l'examen visuel, consiste à scruter la surface d'un élément afin d'identifier les irrégularités visibles. Il peut être soutenu par des dispositifs tels qu'une loupe, un éclairage laser ou un système vidéo.

Cette technique est facile à appliquer et offre des renseignements précieux sur la condition du composant, surtout lors de défaillances visibles (fissures, corrosion, usure, bris). Néanmoins, elle est confrontée à des contraintes dues à la subjectivité de l'œil humain et à une productivité limitée.

Le contrôle optique automatique, qui repose sur l'utilisation de capteurs ou de balayage laser et de traitement d'image, offre une fiabilité accrue mais une complexité plus grande, étant destiné à des applications particulières.

Néanmoins, il présente des contraintes notables : il ne peut pas identifier les défauts internes ou les microfissures de grande profondeur. Son rendement dépend fortement de la lumière, de la netteté et de l'habileté de l'utilisateur. [14]

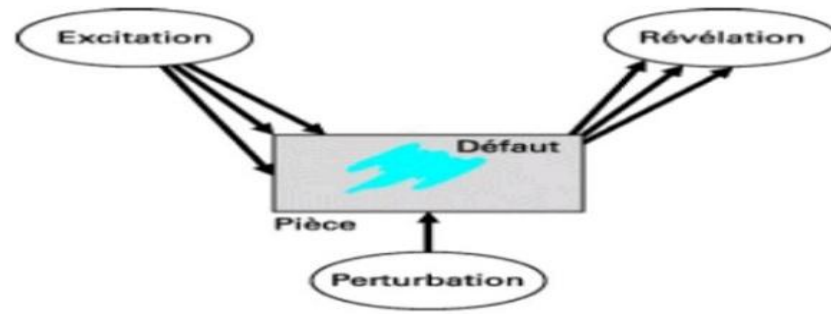


Figure II. 2 : Processus mis en jeu lors d'un examen visuel

2. Ultrasons

L'utilisation de l'inspection non destructive par ultrasons offre de nombreux avantages, y compris une détection améliorée des défauts internes, une exécution rapide et la possibilité d'automatisation du processus. Elle propose une étude approfondie des matériaux sans que l'élément se détériore et est spécialement conçu pour les contrôles industriels nécessitant précision et reproductibilité. La possibilité d'adapter la méthode à divers matériaux et géométries est assurée par l'utilisation de différents types d'ondes (P, S, Rayleigh) et de transducteurs (à élément unique, multiéléments, EMAT, laser).

Toutefois, cette approche présente également ses limites. Elle nécessite un accès aisé aux surfaces à contrôler et l'utilisation d'un couplant pour assurer la propagation des ondes. De plus, elle montre une moins grande efficacité dans la détection des défauts de surface et a une capacité limitée à établir la taille exacte des discontinuités.

Elle n'est pas conçue pour les matériaux ayant une grande atténuation sonore, ce qui limite son domaine d'application.

Toutefois, cette technique nécessite des opérateurs qualifiés et un entretien adéquat de la surface. Elle est aussi capable de traiter la géométrie complexe des pièces, ce qui complique l'interprétation des résultats. [15]

3. Magnétoscopie

La magnétoscopie est une méthode d'examen non destructive particulièrement performante pour détecter les anomalies de surface ou sub-superficielles dans des matériaux ferromagnétiques tels que le fer, l'acier et la fonte. Elle a pour fonction d'identifier des défauts extrêmement subtils, généralement indétectables à l'œil nu, par le regroupement de particules magnétiques dans les régions où des fuites de flux magnétique se produisent. Cette approche offre une sensibilité appropriée et une identification directe des irrégularités, tout en étant suffisamment rapide et simple à mettre en œuvre.

Cependant, elle impose des limitations significatives : son application est exclusivement réservée aux matériaux magnétiques et nécessite un équipement spécifique pour la magnétisation et la manipulation des particules. De plus, il est courant que les composants aient besoin d'une démagnétisation suite à l'inspection, ce qui ajoute une étape supplémentaire au processus. En fin de compte, cette méthode est restreinte à l'identification des défauts près de la surface et n'offre pas la possibilité d'évaluer les matériaux en profondeur. [15]

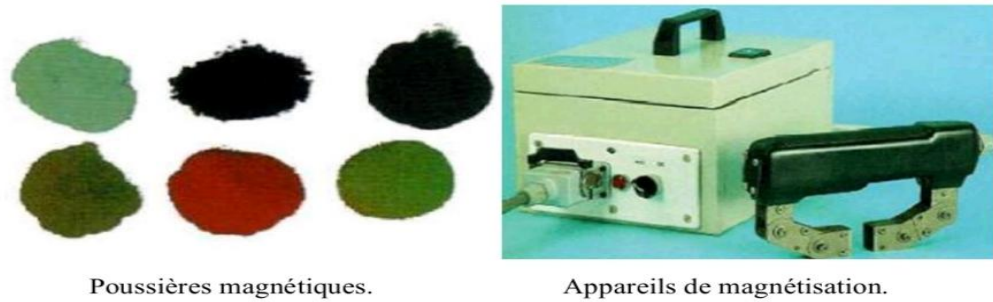


Figure II. 3 : Poussières magnétiques et appareils de magnétisation

4. Radiographie

La radiographie industrielle constitue une méthode performante pour l'inspection des défauts internes profonds dans les matériaux solides. En utilisant des rayons X ou des rayons gamma, elle permet de produire des images de haute résolution révélant la présence de lacunes, de porosités ou d'inclusions invisibles à l'œil nu. L'un des grands avantages de cette procédure est la possibilité de conserver les images obtenues à des lames de documentation ou d'archivage. La radiographie est largement normalisée et reconnue pour sa précision dans des secteurs évalués comme l'aéronautique, le nucléaire et la pétrochimie.

Toutefois, elle présente plusieurs confinements : Elle nécessite des dispositifs de sécurité stricts en raison de l'exposition aux rayonnements ionisants, et l'équipement enfant est généralement coûteux et encombrant. Par ailleurs, le temps d'exposition peut être relativement long selon l'épaisseur et la densité du matériau, ce qui réduit parfois l'efficacité des enfants dans certaines applications sur emplacement. [16]

5. Thermographie infrarouge

L'IRT (thermographie infrarouge) est une technique non destructive qui identifie les irrégularités thermiques à distance en évaluant la radiation infrarouge produite par un élément.

Elle est spécialement bénéfique en matière de maintenance prédictive pour les équipements électriques et mécaniques, fournissant une représentation instantanée des zones surchauffées. Malgré sa sécurité (sans émission de rayonnement ionisant), son efficacité est tributaire d'un gradient thermique adéquat et peut être affectée par des facteurs environnementaux (comme le vent ou le soleil) ou les matériaux à faible émissivité. Une étalonnage minutieux et une compétence pointue dans l'analyse des images sont indispensables pour obtenir des résultats crédibles. [16]

6. Ressuage

La méthode de ressuage présente de nombreux avantages qui expliquent son utilisation courante dans le domaine du contrôle non destructif. Elle est simple à mettre en œuvre, nécessite peu d'équipement et garantit une détection efficace des ruptures apparentes, même sur des composants difficilement accessibles.

De plus, elle est pertinente pour une grande variété de matériaux, qu'ils soient de type ferromagnétique ou non. Toutefois, cette technique comporte également des limitations notables : elle ne peut pas identifier les anomalies internes ou cachées, et son efficacité dépend fortement de la propreté de la surface inspectée. En présence de contaminants, d'oxydes ou de couches de peinture, le pénétrant ne peut pas pénétrer correctement.

Par ailleurs, cette méthode peut s'avérer lente en raison des diverses étapes nécessaires, et son impact environnemental doit être pris en compte du fait de l'usage de substances chimiques. [16]

II.3.5. Intégration du CND dans la stratégie de maintenance

L'intégration du Contrôle Non Destructif (CND) dans la stratégie de maintenance contemporaine vise à passer d'une approche corrective à une approche préventive et prédictive. Les méthodes de contrôle non destructif permettent de repérer les irrégularités ou dégradations potentielles des équipements sans les endommager, réduisant ainsi les arrêts inattendus, les risques éventuels et les coûts afférents.

Le CND s'inscrit principalement dans la maintenance conditionnelle, offrant des données précises sur la situation actuelle des composants. Cela facilite une organisation optimale des interventions et augmente la durabilité des équipements.

Exemples d'intégration stratégique :

- Surveillance fréquente de la corrosion dans les conteneurs sous pression.
 - Identification des fissures dans les structures métalliques des appareils électriques ou mécaniques.
- [16]

II.3.6. Choix des techniques selon les besoins

Le choix de la méthode de Contrôle Non Destructif (CND) est influencé par divers facteurs :

- La nature du matériau (métallique, composite, etc.).
- La disposition et l'accès aisé à l'espace.
- Le type de défaut recherché (fissuration, corrosion, porosité, etc.).
- Le niveau de précision requis et le coût lié à la technique.

II .4 Conclusion

Ce chapitre a permis d'établir le cadre conceptuel de la maintenance industrielle moderne en mettant en évidence l'importance stratégique du contrôle non destructif (CND) dans les politiques de gestion des actifs industriels. Après avoir présenté les différentes stratégies de maintenance corrective, préventive, conditionnelle et prédictive, leur contribution à l'amélioration de la disponibilité opérationnelle des équipements, à la maîtrise des risques liés à la sécurité et à l'optimisation des coûts du cycle de vie a été analysée.

Le contrôle non destructif a été présenté comme un levier technologique essentiel pour l'évaluation de l'intégrité structurelle et fonctionnelle des installations sans altération de leur état de service. Son rôle dans la détection précoce des défauts, la prévention des défaillances et l'augmentation de la durée de vie des équipements a été mis en évidence.

Une analyse comparative des principales méthodes de CND inspection visuelle, contrôle par ultrasons, magnétoscopie, thermographie infrarouge et autres techniques spécialisées a permis d'identifier leurs domaines d'application, leurs avantages, leurs limites ainsi que les critères de sélection en fonction des contraintes industrielles.

CHAPITRE III

Contrôle des machines de production des pipelines par l'analyse vibratoire

Chapitre III : Contrôle des machines de production des pipelines par l'analyse vibratoire

III .1 Introduction

Tout équipement en opération génère des vibrations, reflet des efforts dynamiques créés par les composants en mouvement. Par conséquent, une machine fraîchement acquise et parfaitement opérationnelle génère très peu de vibrations. L'aggravation du fonctionnement entraîne généralement une élévation du niveau des vibrations.

En surveillant la progression de ce niveau, on peut donc recueillir des renseignements précieux concernant l'état de la machine. Ces vibrations constituent un élément central parmi les facteurs à considérer pour réaliser un diagnostic. Le changement de la vibration d'un appareil est souvent le premier signe tangible d'un dysfonctionnement, qui pourrait entraîner des détériorations ou même des pannes.

Ces attributs de l'analyse vibratoire comme outil essentiel de la maintenance moderne, permettent par une détection ou un diagnostic correct des anomalies d'éviter toute panne et d'agir sur une machine uniquement au moment opportun lors des interruptions planifiées de production. [17]

III .2 Définition d'une vibration

On dit qu'un système mécanique est en vibration lorsqu'il effectue un mouvement de balancement autour d'une position centrale, également appelée position d'équilibre. En observant le mouvement d'une masse suspendue à un ressort, on remarque qu'il se manifeste par :

- Un déplacement : la localisation de la masse oscille autour du point d'équilibre.
- Une vitesse de déplacement : changement de position dans le temps.
- une accélération : variation de la vitesse par rapport au temps. [17]

III .3 Objectifs d'analyse vibratoire

L'analyse vibratoire vise deux buts principaux :

- La détection des anomalies.
- L'examen approfondi des défauts.

Pour cela, on fait appel à des paramètres calculés :

- Dans le domaine du temps.
- Soit dans le domaine des fréquences.
- Ou bien dans les deux cas. [18]

III .4 Caractéristiques d'une vibration

A. Fréquence

Un objet vibrant oscille de manière répétée autour de sa position normale stable. Un cycle complet de vibration est généré quand l'objet passe d'une position extrême à l'autre, puis revient au

point initial. On désigne par fréquence le nombre de cycles qu'un objet vibrant réalise en une seconde. La mesure de fréquence est exprimée en hertz (Hz). Un hertz équivaut à un cycle par seconde. [19]

La fréquence correspond au nombre de fois qu'un événement se reproduit sur une période déterminée. Quand on sélectionne la seconde comme unité de mesure, la fréquence se définit en hertz [Hz]. 1 hertz équivaut à 1 cycle par seconde. Ainsi, une vibration qui se manifeste 20 fois par seconde aura une fréquence de 20 hertz. [17]

B. Amplitude

Un objet vibrant se déplace sur une distance maximale de part et d'autre de sa position fixe. L'amplitude est la distance comprise entre la position fixe et la position extrême, d'un côté ou de l'autre, et elle est mesurée en mètres (m). L'intensité de la vibration dépend de l'amplitude. [19]

III .5 Les différentes formes de vibration

III .5.1 Vibrations harmoniques

Une vibration harmonique est une vibration dont le graphique amplitude-temps est illustré par une sinusoïde.

L'exemple le plus pertinent d'une vibration harmonique est celle produite par le déséquilibre d'un rotor en cours de mouvement. [18]

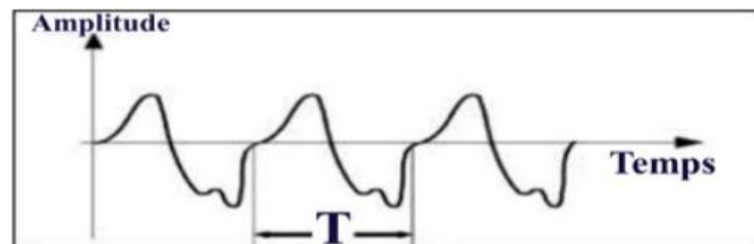


Figure III. 1 : Vibration harmonique [18]

ω = vitesse angulaire ou pulsation du mouvement

f = fréquence du mouvement

φ = phase du mouvement par rapport à un repère dans le temps

III .5.2 Vibrations périodiques

Une vibration périodique est définie comme celle qui se répète exactement après un intervalle de temps spécifique, connu sous le nom de période. Une telle vibration est engendrée par une excitation qui est, elle, périodique. C'est la situation la plus courante observée sur les appareils. [18]

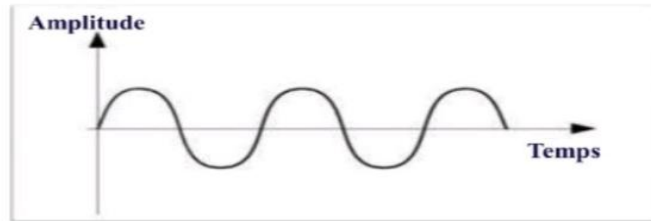


Figure III. 2 : Vibration périodique [18]

III .5.3 Vibrations apériodiques

On dit qu'une vibration apériodique a un comportement temporel quelconque, c'est-à-dire qu'elle ne présente jamais de répétabilité dans le temps. On observe ce phénomène sur un broyeur lorsqu'il subit des chocs. [18]

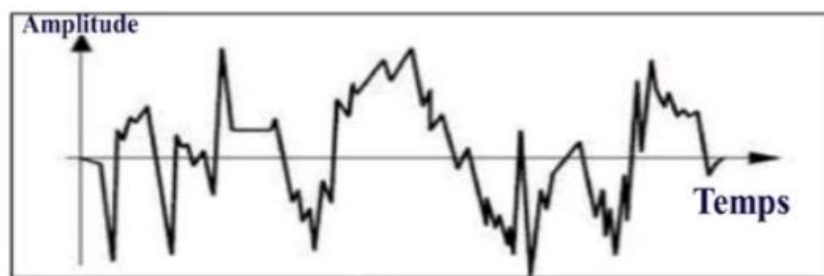


Figure III. 3 : Vibration apériodique [18]

III .6 Les capteurs de détection de vibration

III .6.1 Les proximètres

Un proximètre, également connu sous le nom de sonde de proximité, est un dispositif de détection sans contact qui génère un signal électrique proportionnel au mouvement relatif causé par la vibration d'un arbre ou d'un rotor. Il a continuellement gravi les marches à l'intérieur du palier. Toutes les gammes de fréquence ne permettent pas de quantifier les mesures en déplacement.

Ces mesures se concentreront sur les basses fréquences ($< 100 \text{ Hz}$). Le détecteur de déplacement trouve son utilité dans toutes les applications nécessitant un suivi précis du jeu roulements.

C'est la raison pour laquelle la majorité des turbines hydroélectriques et des turbomachines sont équipées de capteurs de déplacement. En se basant sur l'expertise des véritables jeux radiaux ou des jeux axiaux rotor-stator, il devient nettement plus aisé de fixer les limites d'alerte et de danger en ce qui concerne le déplacement plutôt qu'en termes de vitesse ou d'accélération. [17]

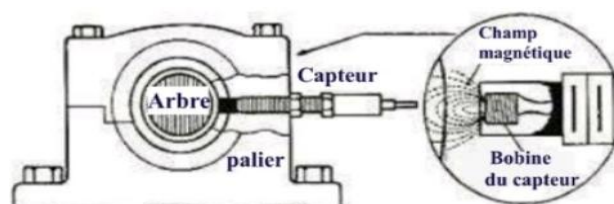


Figure III. 4 : Proximètre [18]

III .6.2 Les Vélocimétries / capteurs de vitesse

Les capteurs de vitesse, également connus sous le nom de vélocimétries, se composent d'une sonde de contact dite sonde sismique. Cette dernière est utilisée pour mesurer le mouvement absolu de l'élément auquel elle est attachée. Les vélocimétries courantes se composent d'une masse sismique connectée au boîtier par un ressort et d'une bobine fixée à celle-ci, qui se déplace dans un champ magnétique permanent créé par une tige magnétisée. Le capteur, qui est monté sur le palier, génère une tension proportionnelle à la vitesse de déplacement de la bobine en raison des vibrations du palier.

Ces capteurs ont généralement une fréquence de résonance qui varie entre 8 et 15 Hz, avec une plage dynamique pouvant aller de 10-20 Hz à environ 2000 Hz. [17]

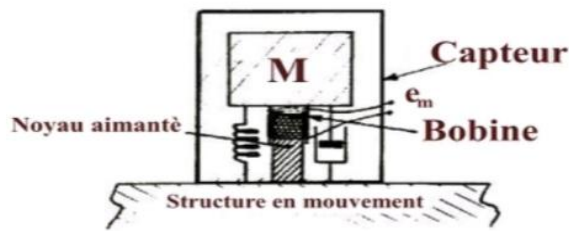


Figure III. 5 : Vélocimétrie [18]

III .6.3 Les accéléromètres

Un accéléromètre piézoélectrique se compose d'un disque en matériau piézoélectrique par exemple quartz ou céramique, qui agit comme un ressort sur lequel une masse sismique précontrainte est posée. Lorsque la masse est soumise à une accélération, elle impose des contraintes sur le disque, générant à la surface de celui-ci une charge électrique qui est proportionnelle à cette accélération.

Les capteurs piézoélectriques d'accélération semblent se diriger vers une adoption généralisée en tant que capteurs de vibration absolue pour le suivi.

Ils détiennent les caractéristiques suivantes :

- Ils sont utilisables sur une vaste étendue de plages de fréquences.
- Une linéarité parfaite sur une large gamme dynamique (généralement 140 dB).
- L'accéléromètre peut être intégré électroniquement pour fournir des informations sur le déplacement et la vitesse.
- Pas d'élément mobile, donc très résistant.

Les accéléromètres avec électronique intégrée ressemblent aux accéléromètres piézoélectriques, sauf qu'ils sont dotés d'un conditionnement de charge intégré qui fournit une tension proportionnelle à l'accélération. [17]

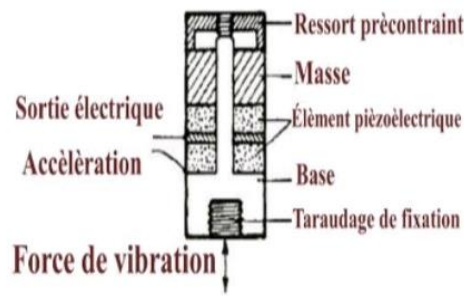


Figure III. 6 : Accéléromètre [18]

III .7 Défauts des machines tournantes

III .7.1 Déséquilibre (défaut de balourd)

Peu importe l'attention donnée à la fabrication des machines, il est impossible d'aligner l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque segment élémentaire du rotor. Ce déséquilibre est généralement le résultat de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage, ou en découle :

- D'une dégradation physique : détérioration d'ailette, usure ou encrassement,
- D'une déformation thermique : changement de forme dû à des dilatations inégales des matériaux composant le rotor ou à des variations localisées de température. [17]

On distingue deux sortes de balourd :

Balourd statique et dynamique.

Le balourd statique :

- Phase identique pour chaque roulement.
- Essentiellement des vibrations radiales déséquilibrées.

Le balourd dynamique :

- Décalage de 180° autour de l'axe du roulement.
- Surtout des vibrations radiales. [20]

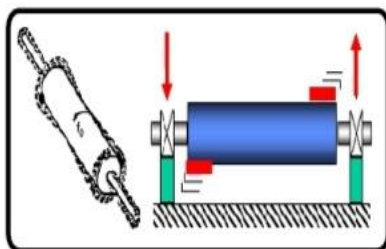


Figure III. 7 : Balourd dynamique [17]

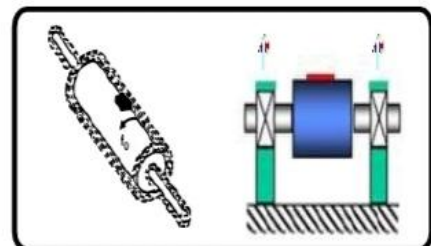


Figure III. 8 : Balourd statique [17]

III.7.2 Défaut d'alignement

III .7.2.1 Définition

L'une des causes majeures de la diminution de la longévité des équipements est le manque d'alignement. Il s'agit soit de deux arbres connectés par un assemblage, soit de deux roulements appuyant sur le même axe. [17]

III .7.2.2 Désalignement d'arbres accouplés

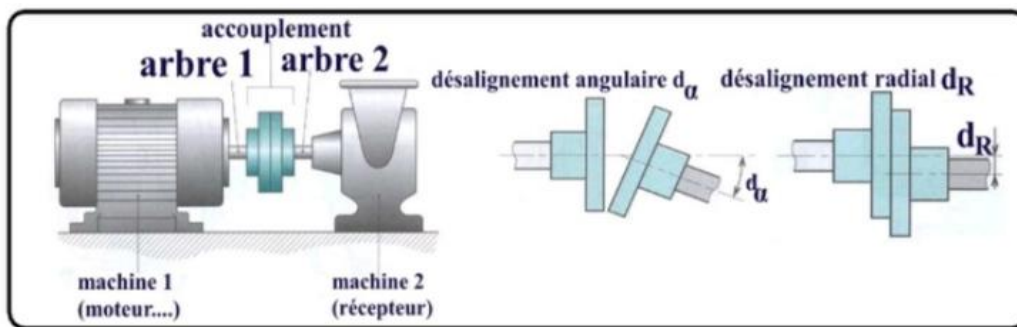


Figure III. 9 : Défauts d'alignement d'arbres [17]

Il peut exister un désalignement angulaire entre les axes des deux rotors au niveau de l'accouplement, un désalignement radial (qui indique une perte de concentricité) ou même une combinaison des deux. [17]

III .7.3 Défaut de serrage

Un serrage inadéquat de la structure de l'appareil entraîne des vibrations et un certain niveau de bruit. Le spectre habituellement observé sur un appareil présentant un jeu renferme une multitude de pics à des fréquences qui sont des multiples de la fréquence de rotation. [17]

III .7.4 Défauts de transmission par courroies

Les principales anomalies observées sur ce genre de transmission sont :

- Une dégradation localisée d'une courroie (partie arrachée, problème d'étanchéité...).
- Des courroies relâchées.
- Des courroies dégradées.
- Un désalignement des poulies, une poulie hors centre.
- Une anomalie dans la transmission courroie-poulies crantées. [21]

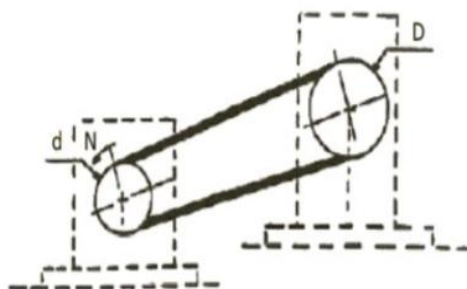


Figure III. 10 : Transmission poulies courroies [21]

III.7.5 Les défauts des engrenages

Un rouage est constitué de deux roues dentées qui s'engrènent mutuellement, facilitant la transmission de puissance entre deux axes proches avec un taux de vitesse constant. Selon la position relative des deux arbres, on identifie trois types d'engrenages :

- Les pignons parallèles (les deux axes sont en parallèle).
- Les roues dentées en engagement (les deux arbres sont positionnés de sorte que leurs prolongements se croisent).
- Les pignons gauches (les deux axes se trouvent en une position relative arbitraire) Les dents de l'engrenage peuvent être droites, hélicoïdales ou en forme de chevrons. Les actions en conséquence sont :
- Exclusivement radiales pour les engrenages parallèles, à denture droite ou à chevrons.
- Mixtes (radiales et axiales) pour les engrenages à denture hélicoïdale, les engrenages coniques ainsi que les engrenages à vis sans fin. [17]



Figure III. 11 : Différents types d'engrenage [17]

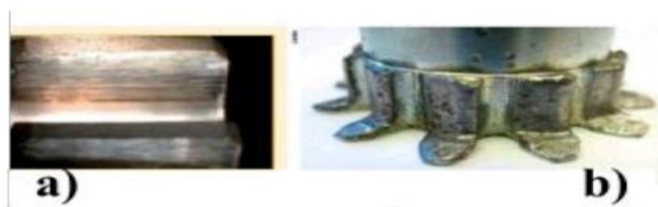


Figure III. 12 : L'usure des engrenages a) usure par interférence. b) usure abrasive



Figure III. 13 : Grippage a) à froid, b) à chaud

III.7.6 Les défauts de roulements

Les roulements figurent parmi les éléments les plus sollicités dans les machines et constituent une cause courante de défaillance. On peut y observer les défauts suivants : délaminage, blocage, corrosion (qui cause le délaminage), et ainsi de suite.

Dans la majorité des situations, l'usure se manifeste par un ébréchage d'une des pistes ou d'un composant roulant du roulement, engendrant un impact à chaque rotation. Des vibrations avec des fréquences identiques aux vitesses de rotation de chaque composant du roulement sont produites par des roulements défectueux. Cela inclut notamment la rotation des billes, des rouleaux ou de la cage, ainsi que le mouvement des billes sur les bagues. [22]



Figure III. 14 : Principaux éléments constitutifs d'un roulement. [23]

➤ Dégradation des roulements

Tableau III.1 : Causes de dégradation des roulements [17]

Causes	Conséquences
Défaut de lubrification	Usure adhésive grippage
Chocs et sur charges	Déformation rupture
Phénomènes de corrosion	Corrosion de contact
Pénétrations des particules dures	Abrasion

III.8 Choix des seuils vibratoire

III.8.1 Seuil de vitesse vibratoire

Selon la norme ISO 10816 l'intensité vibratoire est la plus grande des mesures en vitesse vibratoire efficace dans la gamme de fréquences (10-1000 *Hz*) sur chaque palier, support et bride dans les trois directions perpendiculaires entre elles (horizontales, verticales et axiales). Cette norme, qui présente une large concordance avec la norme internationale ISO 10816 (International Organisation for Standardisation). Ces critères de distinction sont la puissance et les fondations... La norme propose pour chacun des quatre premiers groupes des seuils de jugement qui déterminent les domaines suivants : bon, admissible, encore admissible, inadmissible.[23]

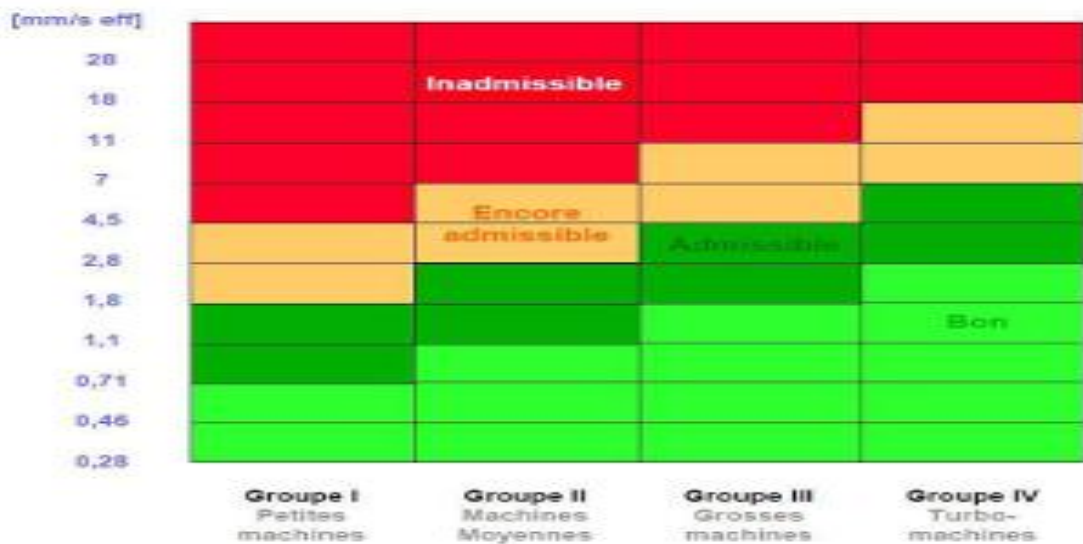


Figure III. 15 : Normes ISO 10816 [23]

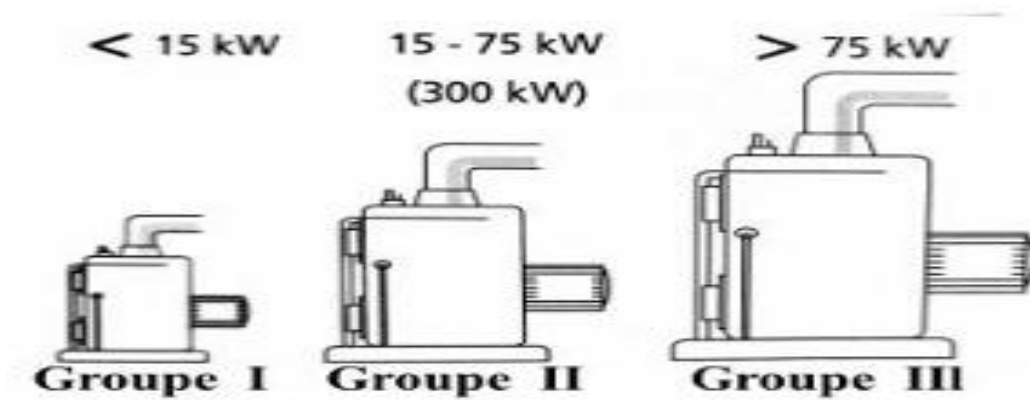


Figure III. 16 : La norme concernant les 3 principaux groupes machine

III.9 Le but de travail :

Cette section vise à diagnostiquer l'aspira-teur centrifuge à l'aide de l'analyse vibratoire, ce qui nous permettra d'évaluer son fonctionnement et de détecter d'éventuels problèmes. Pour agir sur cette dernière au moment opportun et minimiser ainsi les temps d'arrêt de la machine.

III.10 Définition de l'aspirateur centrifuge

L'aspirateur centrifuge est une machine mécanique utilisée pour créer une dépression permettant l'aspiration et le transport du flux de soudage non consommé depuis la zone de soudage vers un réservoir de récupération.

Dans cette installation industrielle, l'aspirateur est monté sur une machine de soudage spiral destinée à la fabrication des pipes en acier. [24]



Figure III. 17: Aspirateur centrifuge

III.11 Le rôle L'aspirateur centrifuge

L'aspirateur centrifuge a pour fonction principale d'assurer la récupération continue du flux de soudage non consommé depuis les têtes de soudage intérieure et extérieure vers un système de récupération et de filtration. [24]

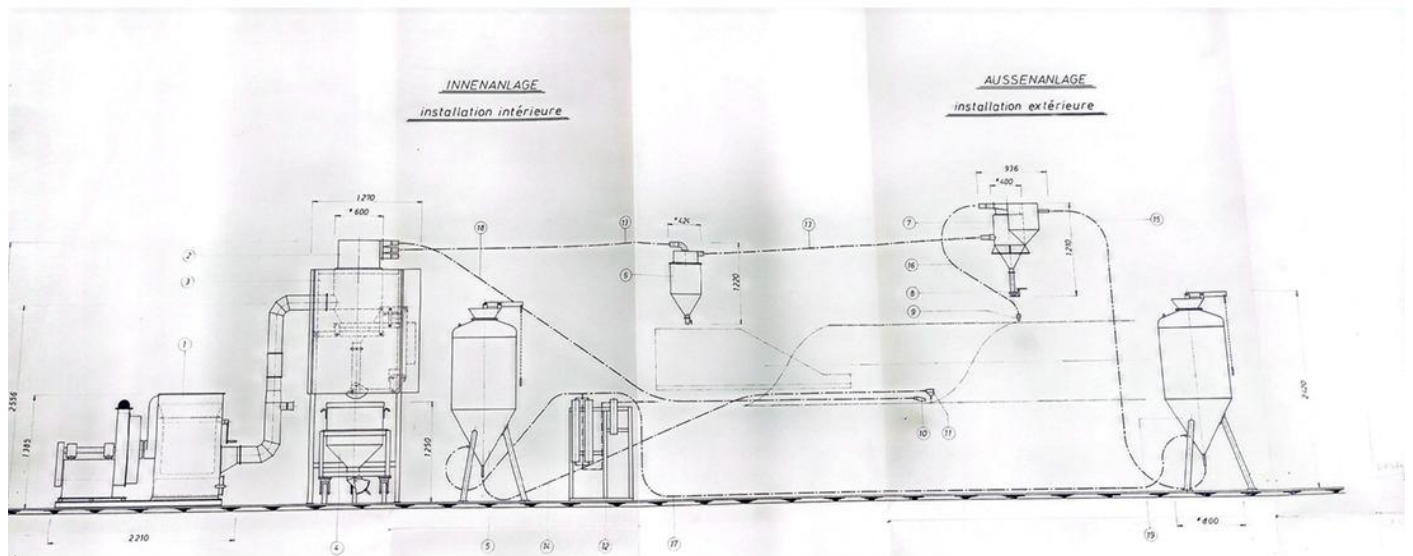


Figure III. 18 : Schéma d'installation intérieure et extérieure [24]

Il autorise également :

- d'assurer un environnement de travail propre ;
- de réduire les pertes de matière du flux;
- d'améliorer le rendement et la qualité du procédé de soudage ;
- de recycler le flux récupéré afin de diminuer les coûts de production ;
- de garantir un fonctionnement continu et efficace de l'installation de soudage. [24]

III.12 Constitution de l'aspirateur centrifuge

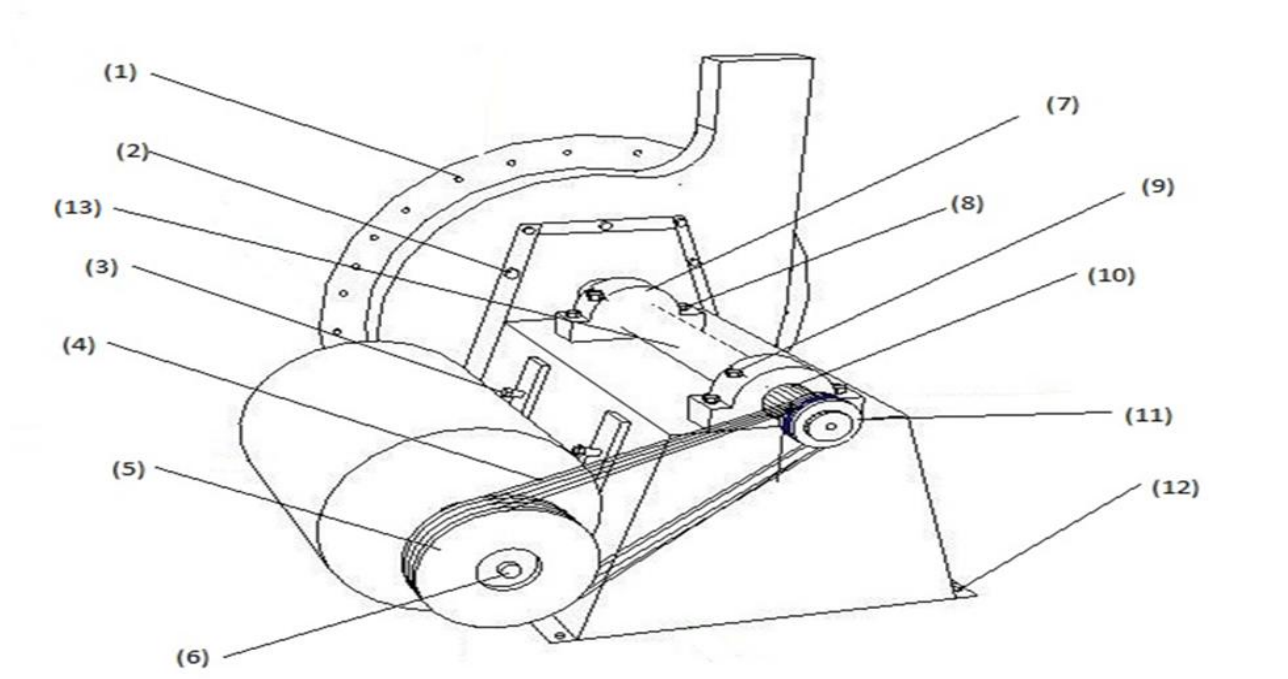


Figure III. 19: L'aspirateur centrifuge [24]

➤ **Constitution de l'installation de L'aspirateur centrifuge**

Tableau III.2 : Constitution de l'installation de L'aspirateur centrifuge [24]

N°	L'installation
1	Vis de fixation couvercle turbine
2	Vis de fixation
3	Vis fixation de moteur
4	Courroies d'aspirateur
5	Coupleur à billes équipé d'une poulie à 5 gorges (moteur)
6	Vis fixation de coupleur à billes
7	Palier d'aspirateur avec manchon de serrage
8	Vis fixation de palier
9	Vis fixation Chape de palier
10	Roulement de palier
11	Poulie à 5 gorges
12	Écrou de fixation d'aspirateur
13	L'axe de turbine

L'aspirateur centrifuge étudié est composé des éléments principaux suivants :

A. Moteur électrique

Le système est entraîné par un moteur électrique de puissance :

$P=15 \text{ kW}$

Le moteur fournit l'énergie mécanique nécessaire à la rotation de la turbine d'aspiration.

B. Système de transmission par courroies

La transmission du mouvement entre le moteur et l'arbre de la turbine est réalisée par :

- une poulie motrice montée sur l'arbre moteur ;
- une poulie réceptrice à 5 gorges montée sur l'arbre de réception ;
- plusieurs courroies trapézoïdales.

Ce système permet :

- la transmission du couple ;
- l'adaptation de la vitesse de rotation ;
- la réduction des chocs mécaniques.

C. Arbre de réception

L'arbre de réception supporte :

- la poulie réceptrice ;
- la turbine centrifuge.

Il transmet le mouvement de rotation à la turbine.

D. Paliers

L'arbre est maintenu par deux paliers assurant :

- le guidage en rotation ;
- la réduction des frottements ;
- la stabilité mécanique de l'ensemble tournant.

Les paliers absorbent également les efforts radiaux générés par la transmission et la turbine.

E. Turbine centrifuge

La turbine est l'élément principal de l'aspirateur. Elle tourne à grande vitesse afin de créer une dépression à l'entrée de l'aspirateur.

Cette dépression permet l'aspiration du flux de soudage à travers les conduites reliées aux têtes de soudage.

III.13 Principe de fonctionnement de l'aspirateur centrifuge

Le fonctionnement de l'aspirateur centrifuge se déroule selon les étapes suivantes :

Étape 1 : Mise en rotation du moteur

Lorsque le moteur électrique est alimenté, son arbre commence à tourner.

Étape 2 : Transmission du mouvement

Le mouvement de rotation est transmis :

- de la poulie motrice ;
- aux courroies ;
- puis à la poulie réceptrice.

L'arbre de réception entre alors en rotation.

Étape 3 : Rotation de la turbine

La turbine centrifuge fixée sur l'arbre tourne à grande vitesse.

Sous l'effet de la force centrifuge, l'air situé au centre de la turbine est projeté vers la périphérie.

Étape 4 : Création de la dépression

L'évacuation de l'air vers l'extérieur crée une zone de basse pression au centre de la turbine.

Cette dépression provoque l'aspiration :

- de l'air ;
- du flux de soudage non consommé.

Étape 5 : Transport du flux

Le mélange air-flux circule dans les conduites d'aspiration depuis les têtes de soudage intérieure et extérieure vers le système de récupération.

Étape 6 : Récupération du flux

Le flux récupéré est séparé de l'air dans un réservoir ou un séparateur, puis il peut être :

- filtré ;
- recyclé ;
- réutilisé dans le procédé de soudage. [24]

III.14 Capteur de vibration

Le capteur de vibration qu'on a utilisé pour la mesure est le capteur d'accélération.



Figure III. 20: Accéléromètre type 4535-B [25]

III.14.1 Caractéristiques techniques de l'accéléromètre

- Type : 4535-B
- Plage de fréquence : 0.3 – 10000 Hz
- Plage de température : -60 ... +125 °C

L'accéléromètre TYPE 4535-B est raccordé au collecteur VIBROTEST 60F (marque Brüel & Kjær)

III.15 VIBROTEST 60F (marque Brüel & Kjær)

Le VIBROTEST 60F offre, grâce à son concept modulaire, un grand choix de fonctions :

- Analyse de vibrations.
- Equilibrage dans les conditions de service.
- Collecteur de données



Figure III. 21 : Vibrotest 60F (marque Brüel & Kjær) [25]

III.15.1 Caractéristiques techniques

- Marque : Brüel & Kjær.
- Type : VIBROTEST 60F.
- Modes de fonctionnement :
 - Mode Analyseur de spectre.
 - Fonction enregistreur (Temps).
 - Mode collecteur de données.

III.16 Emplacement de point de mesure

➤ Localisation des points de mesure

Les mesures de vibrations sont réalisées au droit (horizontal et axial) des paliers de l'aspirateur centrifuge . Le capteur doit être placé de façon à assurer un trajet direct (rotor-structure) aux vibrations.

➤ Direction des mesures :

Les mesures peuvent se faire :

- dans un plan radial (vertical : V, horizontal : H, oblique : O).
- et/ou dans un plan axial (axial : A).

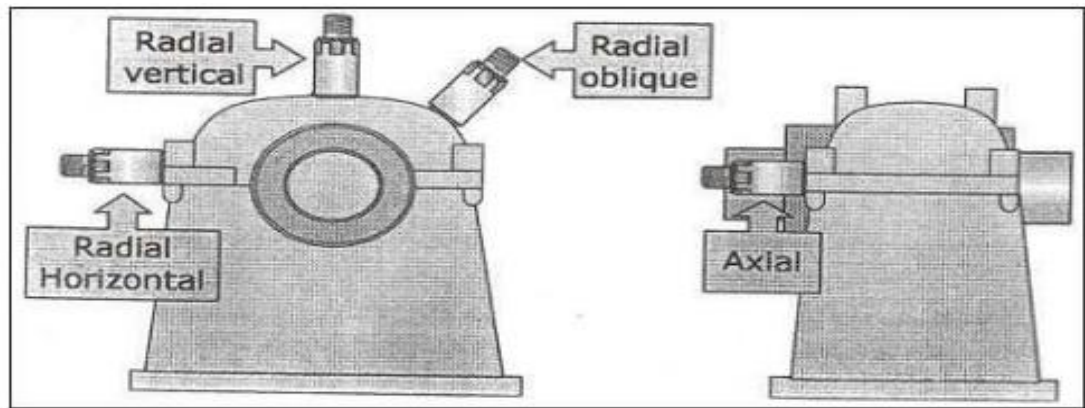


Figure III. 22: Direction des mesures

III.17 Niveaux vibratoires de l'aspirateur centrifuge (groupe 1)

Classification de l'aspirateur centrifuge :

La puissance de l'aspirateur est : 15 [kW], donc elle classée dans première groupe (petites machines).



Figure III. 23 : Niveaux vibratoires (la norme ISO 10816)

III.18 Conclusion

Dans ce chapitre, les principes fondamentaux de la maintenance industrielle ont été présentés et analysés. Une classification des principales stratégies de maintenance a été établie, en mettant en évidence leurs objectifs respectifs ainsi que leur contribution à l'amélioration de la fiabilité, de la disponibilité et de la maintenabilité des équipements industriels. Une attention particulière a été accordée à la maintenance conditionnelle et aux techniques de surveillance de l'état des machines, notamment l'analyse vibratoire, reconnue comme l'un des outils les plus performants pour le diagnostic des équipements rotatifs.

L'analyse vibratoire a été étudiée en tant que méthode de contrôle permettant la détection précoce des anomalies mécaniques à partir de l'exploitation des signatures vibratoires des machines. Grâce à ses capacités d'identification des défauts sans interruption du processus de production ni démontage des équipements, cette technique contribue à l'optimisation des programmes de maintenance, à la réduction des coûts d'exploitation et à l'augmentation de la durée de vie des installations industrielles.

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, une étude de cas a été réalisée sur les paliers d'un aspirateur centrifuge au sein de l'entreprise ALFAPIPE. Cette étude a consisté à appliquer l'analyse vibratoire, associée à l'analyse spectrale fréquentielle, afin d'identifier et de caractériser les défauts affectant le système. Le stage pratique effectué dans cette entreprise a permis d'appréhender les contraintes réelles de la maintenance industrielle et l'importance stratégique des équipements rotatifs dans la continuité des processus de production.

Les aspirateurs centrifuges constituent des équipements critiques dont la disponibilité conditionne directement les performances opérationnelles de l'installation. La surveillance de leur état de fonctionnement représente donc un enjeu majeur pour garantir la fiabilité du procédé industriel. À l'aide de capteurs de vibrations, les signaux vibratoires ont été acquis puis analysés dans les domaines temporel et fréquentiel. L'étude du contenu spectral a permis d'extraire des indicateurs pertinents pour le diagnostic des défauts et la compréhension du comportement dynamique de la machine.

Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité de l'analyse vibratoire dans la détection et la localisation précises des défaillances mécaniques. Cette approche a permis d'identifier rapidement les composants défectueux, de déterminer les causes probables des dysfonctionnements et de réduire les temps d'arrêt liés aux interventions correctives. Par conséquent, l'analyse vibratoire s'impose comme un outil essentiel de la maintenance conditionnelle, contribuant à l'amélioration de la fiabilité, de la disponibilité et de la performance globale des équipements industriels.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La maintenance industrielle constitue aujourd'hui un facteur déterminant dans l'amélioration de la performance et de la compétitivité des entreprises. Face aux exigences croissantes de disponibilité, de fiabilité et de rentabilité des équipements, les approches traditionnelles de maintenance montrent certaines limites, ce qui a favorisé l'émergence de nouvelles stratégies basées sur la surveillance de l'état réel des machines.

Dans ce contexte, ce mémoire a porté sur l'implémentation d'une stratégie de maintenance prévisionnelle par analyse vibratoire des machines tournantes chez ALFAPIPE Ghardaïa. L'étude réalisée a permis de mettre en évidence l'importance de l'analyse vibratoire comme outil de diagnostic et d'aide à la décision en maintenance. Cette technique offre la possibilité de détecter précocement les anomalies mécaniques telles que le déséquilibre, le désalignement ou les défauts de roulements, avant qu'elles ne provoquent des pannes critiques.

L'application de cette démarche contribue à la réduction des arrêts imprévus, à l'optimisation des coûts de maintenance, à l'amélioration de la disponibilité des équipements et à l'augmentation de leur durée de vie. Elle permet également une meilleure planification des interventions et une utilisation plus rationnelle des ressources de maintenance.

Par ailleurs, ce travail a permis de développer un concept de start-up spécialisé dans la maintenance prévisionnelle des machines tournantes. Cette initiative vise à accompagner les entreprises industrielles dans leur transition vers une maintenance intelligente basée sur l'exploitation des données vibratoires et les techniques modernes de surveillance des équipements.

En perspective, l'intégration de technologies avancées telles que l'Internet des Objets (IoT), les systèmes de surveillance en temps réel et l'intelligence artificielle pourrait renforcer davantage l'efficacité des stratégies de maintenance prévisionnelle et contribuer à la transformation numérique du secteur industriel.

Enfin, cette étude confirme que la maintenance prévisionnelle par analyse vibratoire représente une solution efficace et prometteuse pour améliorer la fiabilité des équipements industriels et soutenir la performance globale des entreprises.

REFERENCES

REFERENCES :

- [1] Banque historique / Ar-chives historiques du département de la maintenance, ALFAPIPE, Tuberie Ghardaïa.
- [2] Selmers. Manuel Technique, Grenailleuse Intérieure, Projet 448 Alfapipe Algérie.
- [3] Kherbouche Mohamed, Étude de la pollution harmonique dans un réseau de transport HTB : cas de Sonelgaz, Mémoire de Master, Université de M'Sila, 2021, p. 22–37.
- [4] Yahi Samir, Impact des perturbations électromagnétiques sur les équipements de protection dans les réseaux HTB, Mémoire de Master, Université de Laghouat, 2022, p. 18–31.
- [5] M. A. BELHOMME, Cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE, 2011.
- [6] BELLAOUAR Ahmed et BELEULMI Salima, Fiabilité Maintenabilité Disponibilité, Univ de Constantine, 2014
- [7] Amari Anis, Modélisation des effets magnétiques dans les postes HTB et solutions de blindage, Mémoire de Master, Université de Tizi Ouzou, 2020, p. 22–38.
- [8] Bouzidi Rania, Étude de la stabilité des réseaux HTB lors des pics de charge, Mémoire de Master, Université de Boumerdès, 2022, p. 36–53.
- [9] Djelloul Meriem, Gestion de la demande et régulation dynamique dans le réseau HTB de SONELGAZ, Mémoire de Master, Université de Blida 1, 2021, p. 40–57.
- [10] Khelifa Amar, Stratégies d'équilibrage en période de charge maximale sur les lignes HTB algériennes, Mémoire de Master, Université de Sétif 1, 2020, p. 45–61.
- [11] Cherfaoui, A. (2020). Optimisation des coûts de maintenance à l'aide de la GMAO : étude de cas dans une entreprise de mécanique. *Revue des Sciences Appliquées*, Université de Blida, Vol. 6, p. 61.
- [12] Haddad, S., & Hanouti, Y.. Maintenance préventive conditionnelle pour les systèmes soumis à des dégradations par corrosion : Cas du pipeline GG1 Sonatrach [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira– Béjaïa 2021.
- [13] Belakroum, R., Kiou, M. M., & Bousbia, S. A. (2020). Maintenance conditionnelle par analyse vibratoire dans une centrale électrique à turbine à gaz [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah- Ouargla].
- [14] Bensaci, M.. Méthodes et outils de planification de la maintenance dans les entreprises énergétiques algériennes. Mémoire de Master, Université de Boumerdès, Faculté de Génie Mécanique, 2018 p. 41.
- [15] Gherbi, Y. Implémentation d'un système GMAO dans une entreprise industrielle : cas de l'unité Fertial d'Annaba. *Revue des Techniques Industrielles*, Université Badji Mokhtar, Annaba, Vol. 12, 2021 p. 69
- [16] Guentri Hocine , Organisation et gestion de la maintenance Industrielle, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf–Mila ,Département de génie mécanique et électromécanique 2023 .

- [17] Landolsi, Foued. *Techniques de surveillance*. Academia.edu. Accédé [date de récupération].https://www.academia.edu/28866057/TECHNIQUES_DE_SURVEILLANCE_Elabor%C3%A9_par_Mr_LANDOLSI_FOUED_
- [18] Benchabane, Lamine, and Toufik Boualouache. "*Étude et maintenance conditionnelle d'une pompe alimentaire par analyse vibratoire*." mémoire de master, Université M'hamed Bougarah - Boumerdes n.d. Faculté de Technologie, Département Génie Mécanique, 2020.
- [19] CCHST, s.d. *Vibrations - Introduction*. [en ligne] Disponible à l'adresse : <https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_intro.html> [Consulté le 1 juin 2024].
- [20] Boumalia, Ahmed Dhia Eddine. 2018. *Diagnostic des défauts d'un ventilateur M14A par analyse vibratoire au niveau de l'unité SIDER TSS*. Mémoire de master, Université Badji Mokhtar - Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingéniorat, Département de Génie Mécanique. Directeur de mémoire : M. Laissaoui R.
- [21] Boulenger, Alain, et Christian Pachaud. 2009. *Aide-mémoire : Surveillance des machines par analyse des vibrations*. Paris : Dunod.
- [22] Mobility Work. "Niveaux de maintenance selon l'AFNOR." Mobility Work. Accès juin 1, 2024. <https://mobility-work.com/fr/blog/niveaux-maintenance-afnor/>.
- [23] Agroum, Mohamed Lamine, et Hamid Moussaoui. 2019. *Maintenance conditionnelle par analyse vibratoire d'un groupe turboalternateur*. Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara - Boumerdès, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Département Maintenance Industrielle, Filière Génie Electromécanique, Option Electromécanique.
- [24] ALFAPIPE, Historique de l'entreprise, document interne de l'entreprise, 2026
- [25] Brüel & Kjær. "TYPE 4535-B: Accéléromètre CCLD triaxial à usage général, TEDS, 9,8 mV/g, sans câble." Brüel & Kjær Sound & Vibration. Accessed June 3, 2024. <https://www.bksv.com/fr/transducers/vibration/accelerometers/ccld-iepe/4535-b>.

مشروع مؤسسة اقتصادية كمذكرة تخرج وفق القرار
الوزاري 1275 المتمم والمعدل بموجب القرار 008
الموسوم بـ:

عنوان المشروع

تطبيق استراتيجيات الصيانة التنبؤية باستعمال التحليل الاهتزازي

للآلات الدوارة بمؤسسة ALFAPIPE غرداية

حول فريق الاشراف وفريق العمل :

فريق الاشراف :

المشرف الرئيسي	التخصص
مرزوق حسين	صيانة صناعية

فريق العمل :

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالب : غريقة عبد الرؤوف	صيانة صناعية	الاية وكهروميكانيك
الطالب : الراعي يوسف	صيانة صناعية	الاية وكهروميكانيك

• شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين، نحمده ونستعينه ونستغفره، ونصلي ونسلم على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم، وعلى آله وصحبه أجمعين.

أما بعد،

فيسرنا ونحن نضع اللمسات الأخيرة على هذا العمل المتواضع، أن نتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير والامتنان إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة التي تتناول تطبيق استراتيجية الصيانة التنبؤية باستعمال التحليل الاهتزازي للآلات الدوارة، وكان له الأثر الطيب في إتمامها وإخراجها إلى حيز الوجود.

نتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى أستاذنا المشرف، الذي رافقنا بتوجيهاته السديدة ونصائحه القيمة، ولم يدخر جهداً في مساعدتنا ومتابعتنا طوال مراحل إعداد هذا العمل، فكان خير مرشد ومعين.

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى جميع أساتذة قسم الآلية والكهروميكانيك، الذين أفادونا بعلمهم ومعارفهم طوال مسيرتنا الدراسية، وأسهموا في تكويننا العلمي والأكاديمي.

وكما نتوجه بالشكر الجزيل إلى مختلف المؤسسات والهيئات والمراجع التي استفدنا منها في إعداد هذه الدراسة، وعلى رأسها مجمع ALFAPIPE.

ولا يفوتنا أن نعبر عن عميق امتناننا لإدارة الجامعة وكلية العلوم والتكنولوجيا ومركز تطوير المقاولاتية، على ما وفرتة من إمكانيات وظروف مناسبة ساعدتنا على إنجاز هذا المشروع في أحسن الظروف.

كما نتقدم بالشكر إلى السادة أعضاء لجنة المناقشة الموقرة على تفضلهم بقراءة هذه المذكرة ومناقشتها وإثرائها بملاحظاتهم القيمة، راجين أن ينال هذا العمل رضاهم واستحسانهم.

ونخص بالشكر كل من قدم لنا المساعدة والدعم، من زملاء وأصدقاء وأفراد العائلة، الذين كانوا سنداً لنا خلال فترة إعداد هذا العمل.

وفي الأخير، نسأل الله تعالى أن يجعل هذا الجهد خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يوفقنا جميعاً لما فيه الخير والصالح.

والحمد لله رب العالمين.

• ملخص

يهدف مشروع تطبيق استراتيجية الصيانة التنبؤية بالاعتماد على تقنية التحليل الاهتزازي لمراقبة حالة الآلات الدوارة والكشف المبكر عن الأعطال المحتملة قبل وقوعها. يستهدف المشروع المؤسسات الصناعية التي تعتمد على المعدات الدوارة، ويساهم في تقليل التوقفات المفاجئة، خفض تكاليف الصيانة، وتحسين كفاءة الإنتاج. ويعتمد المشروع على أجهزة قياس الاهتزازات وبرامج تحليل متخصصة، مع فريق مؤهل لتقديم خدمات التشخيص والمتابعة الفنية، مما يجعله حلاً فعالاً لدعم استمرارية النشاط الصناعي ورفع موثوقية المعدات.

الكلمات المفتاحية : الصيانة التنبؤية, التحليل الاهتزازي, الآلات الدوارة, التشخيص المبكر للأعطال, الصيانة الصناعية

Résumé

Ce projet vise à mettre en œuvre une stratégie de maintenance prédictive basée sur l'analyse vibratoire afin de surveiller l'état des machines tournantes et de détecter précocement les défaillances potentielles avant leur apparition. Il s'adresse principalement aux entreprises industrielles utilisant des équipements rotatifs dans leurs processus de production.

L'application de cette stratégie permet de réduire les arrêts imprévus, de diminuer les coûts de maintenance et d'améliorer la fiabilité ainsi que la disponibilité des équipements. Le projet repose sur l'utilisation d'appareils de mesure des vibrations et de logiciels spécialisés pour l'analyse des données et le diagnostic des défauts. Cette approche contribue à optimiser les performances industrielles, à prolonger la durée de vie des machines et à assurer la continuité de la production.

Mots-clés : Maintenance prédictive, Analyse vibratoire, Machines tournantes, Diagnostic précoce des défauts, Surveillance de l'état, Maintenance industrielle.

Abstract

This project aims to implement a predictive maintenance strategy based on vibration analysis to monitor the condition of rotating machine and detect potential faults at an early stage before they lead to failures. The project targets industrial companies that rely on rotating equipment in their production processes.

The implementation of this strategy helps reduce unexpected downtime, lower maintenance costs, and improve the reliability and availability of industrial equipment. The project relies on vibration measurement devices and specialized software to analyze data and diagnose defects. This approach contributes to optimizing industrial performance, extending machine lifespan, and ensuring production continuity.

Keywords: Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Rotating Machinery, Early Fault Detection, Condition Monitoring, Industrial Maintenance.

الفصل الأول

الاطار التمهيدي للمشروع وفكرته

1. مقدمة عن المقاولات وأهمية المشاريع المصغرة

1.1 دوافع المقاول

- الاستجابة للحاجة المتزايدة إلى خدمات الصيانة التنبؤية في القطاع الصناعي.
- المساهمة في تقليل الأعطال الصناعية وتحسين استمرارية الإنتاج.
- استغلال المعارف التقنية المكتسبة في مجال الصيانة الصناعية.
- خلق مشروع مبتكر يعتمد على التكنولوجيا الحديثة.
- توفير فرص عمل في مجال التشخيص والصيانة الصناعية.

2.1 مصادر فكرة المشروع

جاءت فكرة المشروع من خلال :

- ملاحظة الأعطال المتكررة للآلات الدوارة داخل المؤسسات الصناعية.
- التطور المتزايد لتقنيات التحليل الاهتزازي عالمياً.
- الحاجة إلى تقليل تكاليف الصيانة والتوقفات المفاجئة.
- التوجه نحو الصناعة الذكية والصيانة التنبؤية.

3.1 أهمية المشروع

تعد أهمية هذا المشروع من دوره في تحسين أداء المؤسسات الصناعية من خلال تطبيق الصيانة التنبؤية المعتمدة على التحليل الاهتزازي للآلات الدوارة. حيث يساهم في الكشف المبكر عن الأعطال المحتملة قبل حدوثها، مما يساعد على تقليل التوقفات المفاجئة وتحسين استمرارية الإنتاج.

الأهمية الصناعية

- تحسين موثوقية المعدات الصناعية.
- تقليل التوقفات غير المخططة.
- رفع كفاءة الإنتاج.

الأهمية الاقتصادية

- تخفيض تكاليف الصيانة والإصلاح

- تقليل الخسائر الناتجة عن الأعطال.
- تحسين مردودية المؤسسات الصناعية.

الأهمية البيئية

- التقليل من استهلاك الموارد والطاقة.
- الحد من النفايات الناتجة عن تلف المعدات.

2. وصف فكرة المشروع

1.2 تسمية المشروع

VTMG

2.2 موقع المشروع

يقع المقر الرئيسي في ولاية غرداية المنطقة الصناعية بنورة

تم اختيار موقع المشروع :

نظراً لتركز عدد كبير من المؤسسات الصناعية التي تعتمد على الآلات الدوارة والمعدات الإنتاجية , كما يتميز الموقع بسهولة الوصول إلى العملاء المحتملين إضافة إلى قربيه من مؤسسة ALFAPIPE والمؤسسات الصناعية الأخرى، مما يساهم في تقليل تكاليف التنقل والتدخل السريع عند الحاجة

3.2 وصف الخدمة

يقدم المشروع خدمات الصيانة التنبؤية باستخدام تقنية التحليل الاهتزازي للكشف المبكر عن الأعطال في الآلات الدوارة قبل حدوثها، مما يساعد على تحسين أداء المعدات وتقليل الأعطال المفاجئة.

4.2 مميزات خدمتنا مقارنة بالخدمات المشابهة

- دقة عالية في التشخيص.
- سرعة التدخل واتخاذ القرار.
- الاعتماد على تكنولوجيا حديثة.

5.2 مراحل الانتاج + التجهيزات والعتاد اللازم

مراحل الانتاج	العقاد اللازم
وسائل نقل ميدانية	سيارة خاصة
جمع بيانات الاهتزاز	جهاز تحليل الاهتزازات حساسات قياس الاهتزاز
تحليل البيانات	حاسوب محمول+ برمجيات تحليل البيانات
إعداد تقرير فني	حاسوب محمول

6.2 التوظيف

- مهندس صيانة صناعية
- مختص في التحليل الاهتزازي
- تقني صيانة وقياسات
- مسؤول إداري وتسويق

7.2 الإجابة على الأسئلة الخمسة

- ماذا؟

خدمة صيانة تنبؤية تعتمد على التحليل الاهتزازي.

- لمن؟

للمؤسسات الصناعية التي تعتمد على الآلات الدوارة.

- أين؟

في المصانع والمؤسسات الصناعية عبر مختلف القطاعات.

- كيف؟

باستخدام أجهزة قياس الاهتزاز وبرامج تحليل متخصصة للكشف عن الأعطال قبل حدوثها.

- لماذا؟

لتقليل الأعطال المفاجئة وتحسين الأداء الصناعي وخفض تكاليف الصيانة.

3. نموذج الأعمال (BMC)

(1) شرائح العملاء Customer Segments

يستهدف المشروع المؤسسات الصناعية التي تعتمد على الآلات الدوارة في عملياتها الإنتاجية، مثل مصانع الأنابيب، وشركات النفط والغاز، ومحطات المياه والطاقة، والمؤسسات الصناعية الكبرى.

(2) عرض القيمة Value Proposition

يوفر المشروع خدمة صيانة تنبؤية تعتمد على التحليل الاهتزازي للكشف المبكر عن الأعطال، مما يساعد على تقليل التوقفات المفاجئة، وخفض تكاليف الصيانة، وتحسين موثوقية المعدات.

(3) القنوات Channels

يتم تقديم الخدمات والتواصل مع العملاء من خلال الزيارات الميدانية، والتقارير الفنية الرقمية، والبريد الإلكتروني، إضافة إلى المشاركة في المعارض والفعاليات الصناعية.

(4) العلاقة مع العملاء Customer Relationship

يعتمد المشروع على بناء علاقات طويلة الأمد مع العملاء من خلال المتابعة الدورية للمعدات، وتقديم الاستشارات الفنية، والاستجابة السريعة لاحتياجات الصيانة.

(5) مصادر الإيرادات Revenue Streams

تتحقق إيرادات المشروع من خدمات التحليل الاهتزازي، وعقود الصيانة التنبؤية، والاستشارات التقنية، وبرامج التكوين والتدريب.

(6) الأنشطة الرئيسية Key Activities

تشمل الأنشطة الأساسية قياس الاهتزازات، وتحليل البيانات، وتشخيص الأعطال المحتملة، وإعداد التقارير الفنية والتوصيات الخاصة بالصيانة.

(7) الموارد الرئيسية Key Resources

يعتمد المشروع على أجهزة قياس الاهتزازات، والبرمجيات المتخصصة، والموارد البشرية المؤهلة، إضافة إلى الخبرة التقنية في مجال الصيانة الصناعية.

(8) الشركاء الرئيسيون Key Partners

يتمثل الشركاء الرئيسيون في موردي أجهزة القياس، وشركات البرمجيات الصناعية، والمؤسسات الصناعية المستفيدة، والجامعات ومخابر البحث.

(9) هيكل التكاليف Cost Structure

تشمل التكاليف الرئيسية شراء الأجهزة والبرمجيات، وتكوين العاملين، وأجور الموظفين، إضافة إلى مصاريف التنقل والصيانة الدورية للمعدات.

الأنشطة الرئيسية - جمع بيانات الاهتزاز من المعدات - تحليل الإشارات والقياسات - تشخيص الأعطال المحتملة - إعداد التقارير الفنية - متابعة حالة المعدات. - تقديم توصيات الصيانة	عرض القيمة - الكشف المبكر عن الأعطال قبل وقوعها - تقليل التوقفات المفاجئة للآلات - تخفيض تكاليف الصيانة والإصلاح - تحسين استمرارية الإنتاج - زيادة العمر الافتراضي للمعدات - تقارير تحليلية احترافية خلال 24 – 48 ساعة	علاقات العملاء - المتابعة التقنية المستمرة - تقديم استشارات الصيانة - إعداد تقارير دورية عن حالة المعدات - الاستجابة السريعة للحالات الطارئة - عروض تجريبية مجانية	شرائح العملاء - مصانع الأنابيب والمنتجات المعدنية - المؤسسات البترولية والغازية - محطات ضخ المياه - مصانع الإسمنت - الصناعات الغذائية - محطات إنتاج الطاقة الكهربائية - شركات الصيانة الصناعية
الموارد الرئيسية - جهاز تحليل الاهتزازات - حساسات القياس - حواسيب وبرمجيات التحليل - وسائل النقل والتنقل الميداني - فريق تقني مدرب (مهندسون , محللون)		القنوات - الزيارات الميدانية للمؤسسات الصناعية - موقع الكتروني رسمي - التسويق الالكتروني - مواقع في صفحات التواصل الاجتماعي	

التكاليف الاستثمارية - شراء أجهزة تحليل الاهتزازات - اقتناء الحساسات والملحقات - شراء البرمجيات المتخصصة - تكوين وتأهيل العاملين - تنقلات ميدانية - التسويق والعروض التقديمية	مصادر الإيرادات - عقود دورية مع ALFAPIPE والمؤسسات - عقود شهرية / سنوية للشركات - ورشات تكوينية مهنية للفرق التقنية	الشركاء الرئيسيون - مديرية ALFAPIPE - موردي أجهزة قياس الاهتزازات - مطوري تطبيقات وتقارير رقمية - حاضنة الاعمال جامعة غرداية - شركات استشارية قانونية ومالية
---	--	---

4. تحليل SWOT

عوامل مساعدة لتحقيق المشروع	عوامل معطلة لتحقيق المشروع	SWOT
نقاط القوة 1. استخدام تقنية حديثة ومتطورة 2. دقة عالية في الكشف عن الأعطال 3. تقليل تكاليف الصيانة 4. تحسين استمرارية الإنتاج	نقاط الضعف 1. ارتفاع تكلفة الأجهزة 2. الحاجة إلى خبرات متخصصة 3. صعوبة الحصول على بعض البرمجيات	العوامل الداخلية
الفرص 1. تزايد الطلب على الصيانة التنبؤية 2. التحول نحو الصناعة الذكية 3. توسع القطاع الصناعي 4. دعم مشاريع الابتكار الصناعي	التحديات 1. المنافسة من الشركات الأجنبية 2. التطور السريع للتكنولوجيا	العوامل الخارجية

الفصل الثاني

دراسة السوق والاستراتيجية التسويقية

1. تحديد السوق والزبائن

1.1 حجم السوق

يشهد سوق الصيانة الصناعية في الجزائر نمواً مستمراً نتيجة تزايد عدد المؤسسات الصناعية واعتمادها على الآلات الدوارة في عمليات الإنتاج. كما يزداد الطلب على خدمات الصيانة التنبؤية بسبب الحاجة إلى تقليل الأعطال وتحسين استمرارية الإنتاج .

2.1 خصائص الزبائن

الزبون	العمر	الدخل	الموقع
ALFAPIPE	قائمة منذ 1977	مؤسسة ذات رقم أعمال صناعي مرتفع	لها فروع في التراب الوطني وحدة غرداية , وحدة عنابة , وحدة بطيوة (وهران)

3.1 الأسئلة الخمسة لمن وماذا ومتى وأين ولماذا يشتري الزبون

لمن ؟

تشتري المؤسسات الصناعية خدمة الصيانة التنبؤية للحفاظ على معداتها وضمان استمرارية الإنتاج.

ماذا ؟

يشتري خدمات التحليل الاهتزازي وتشخيص الأعطال ومراقبة حالة المعدات.

متى ؟

عند الحاجة إلى تقليل الأعطال أو تحسين أداء المعدات أو ضمن برامج الصيانة الدورية.

أين ؟

من الشركات المتخصصة في خدمات الصيانة الصناعية والتشخيص الفني.

لماذا ؟

لتقليل التكاليف الناتجة ن الأعطال المفاجئة وتحسين موثوقية المعدات والإنتاج.

2. دراسة المنافسين

1.2 المنافسون المباشرون، تحليل نقاط قوتهم وضعفهم

المنافسون	نقاط القوة	نقاط الضعف
SARPI Spa	خبرة كبيرة وموارد تقنية متطورة	أسعار خدمات مرتفعة
SOMIK Spa	خبرة في الصيانة الكهروميكانيكية	انتشار جغرافي محدود
ENAGEO	إمكانيات تقنية وبشرية معتبرة	تركيز أكبر على قطاع الطاقة

2.2 المزيج التسويقي (5Ps)

- **المنتج : (Product)** الموصفات، التغليف، خدمات ما بعد البيع .
يتمثل المنتج في خدمة الصيانة التنبؤية باستخدام التحليل الاهتزازي للكشف المبكر عن الأعطال في الآلات الدوارة.
- **السعر : (Price)** استراتيجية التسعير

التحليل	السعر
Vibration Tester	1,950,000 دج
ACCÉLÉROMÈTRE TYPE 4535-B	810,000 دج
Laptop	60,000 دج

- **المكان : (Place)**
يقع المقر الرئيسي في ولاية غرداية المنطقة الصناعية بنورة
- **الترويج : (Promotion)**
يعتمد المشروع على الزيارات الميدانية، والتسويق الرقمي، والمشاركة في المعارض الصناعية، والتواصل المباشر مع المؤسسات.
- **الأشخاص : (People)**
خبير في إدارة المشاريع الصناعية
خبراء في صيانة
خبراء التحليل الاهتزازي

3.2 تقييم المخاطر:

- **تحديد المخاطر:**
 - ارتفاع تكاليف الأجهزة والبرمجيات.
 - نقص الكفاءات المتخصصة.
 - المنافسة في السوق.
 - أعطال أجهزة القياس.

• انخفاض الطلب على الخدمة.

- تقييم الأثر:

قد تؤدي هذه المخاطر إلى ارتفاع التكاليف التشغيلية، أو انخفاض جودة الخدمة، أو تراجع عدد

العملاء والعائدات المالية.

- إجراءات تخفيف المخاطر:

- توفير تكوين مستمر للعاملين.
- الصيانة الدورية لأجهزة القياس.
- اعتماد سياسة تسعير تنافسية.
- توسيع قاعدة العملاء المستهدفين.
- متابعة التطورات التكنولوجية في مجال الصيانة التنبؤية.

الفصل الثالث

الجوانب القانونية والاجرائية

1. الشكل القانوني المناسب للمشروع

يُعتبر الشكل القانوني الأنسب لمشروع VTMG هو مؤسسة ذات مسؤولية محدودة (SARL)، وذلك لأنها توفر حماية قانونية لأصحاب المشروع من خلال فصل الذمة المالية الشخصية عن الذمة المالية للمؤسسة.

• تبرير اختيار

حماية الذمة المالية الشخصية للشركاء:

تمنح شركة ذات المسؤولية المحدودة (SARL) حماية قانونية للشركاء، حيث تقتصر مسؤولية كل شريك على قيمة حصته في رأس المال فقط. وتعتبر هذه الحماية ضرورية نظراً للمخاطر المرتبطة بنشاط الصيانة الصناعية والتحليل الاهتزازي، والتي قد تشمل أخطاء التشخيص أو الأضرار المحتملة بالمعدات الصناعية، بالإضافة إلى ارتفاع قيمة الأجهزة والتجهيزات التقنية المستخدمة في المشروع.

المصادقية اللازمة للتعامل مع المؤسسات الصناعية الكبرى:

يستهدف المشروع التعاقد مع مؤسسات صناعية كبرى مثل شركات النفط والغاز، ومصانع الأنابيب، ومحطات الطاقة والمياه. وتفضل هذه المؤسسات التعامل مع شركات ذات شخصية معنوية واضحة مثل (SARL)، لما يوفره هذا الشكل القانوني من إطار تنظيمي ومحاسبي يضمن الشفافية والثقة في المعاملات التجارية.

المرونة في توزيع الأدوار والأرباح:

يسمح هذا الشكل القانوني بتحديد مساهمة كل شريك في رأس المال بشكل واضح، مع إمكانية تنظيم المسؤوليات الإدارية والفنية داخل المؤسسة، وتوزيع الأرباح والخسائر وفقاً للاتفاق بين الشركاء. كما يساهم ذلك في تنظيم العمل وتقليل النزاعات المحتملة بين الشركاء مستقبلاً.

إمكانية التوسع والنمو مستقبلاً:

يوفر شكل (SARL) مرونة كبيرة لتطوير النشاط واستقطاب شركاء جدد أو زيادة رأس المال عند الحاجة، مما يساعد المشروع على التوسع نحو أسواق جديدة وتقديم خدمات أكثر تطوراً في مجال الصيانة التنبؤية والتحليل الاهتزازي.

2. الالتزامات الضريبية

يخضع المشروع لمجموعة من الالتزامات الضريبية وفقاً للتشريعات الجزائية، ومن أهمها:

- التسجيل لدى المصالح الجبائية.
- استخراج الرقم الجبائي.
- التصريح بالضرائب في الآجال المحددة.
- دفع الضرائب والرسوم المستحقة.
- مسك السجلات والوثائق المحاسبية اللازمة.
- الالتزام بالتصريحات الخاصة بالضمان الاجتماعي للعمال.

الخاتمة

1. ملخص النتائج الرئيسية للدراسة

من خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى النتائج التالية:

- أولاً: أظهر المشروع أهمية الصيانة التنبؤية في تحسين موثوقية الآلات الدوارة وتقليل الأعطال المفاجئة.
- ثانياً: يساهم التحليل الاهتزازي في الكشف المبكر عن الأعطال واتخاذ قرارات صيانة أكثر فعالية.
- ثالثاً: يحقق المشروع فوائد اقتصادية من خلال تخفيض تكاليف الصيانة وتقليل خسائر التوقفات الإنتاجية.
- رابعاً: يوجد طلب متزايد على خدمات الصيانة التنبؤية داخل المؤسسات الصناعية الجزائرية.
- خامساً: يمتلك المشروع فرص نمو جيدة بفضل التطور المستمر للتكنولوجيا الصناعية.

2. الملاحظات النهائية والاستنتاج

في ختام هذه الدراسة المتعلقة بمشروع تطبيق استراتيجية الصيانة التنبؤية بالاعتماد على التحليل الاهتزازي للآلات الدوارة بولاية غرداية، يمكن القول إن المشروع يمثل نموذجاً واعداً للمقاولاتية التقنية في الجزائر، حيث يجمع بين الابتكار التكنولوجي والحاجة الفعلية للمؤسسات الصناعية إلى حلول حديثة وفعالة في مجال الصيانة.

لقد أظهرت الدراسة أن المشروع لا يقتصر على تقديم خدمة صيانة عادية، بل يقدم حلاً استراتيجياً يساهم في تحسين موثوقية المعدات الصناعية، وتقليل الأعطال المفاجئة، وخفض تكاليف الصيانة والتوقفات غير المخططة. كما يساهم في رفع كفاءة الإنتاج وإطالة العمر التشغيلي للآلات الدوارة، وهو ما ينعكس إيجاباً على الأداء الاقتصادي للمؤسسات الصناعية.

ويمنح الموقع الاستراتيجي للمشروع بالمنطقة الصناعية بنورة بولاية غرداية ميزة تنافسية مهمة، نظراً لقربه من العديد من المؤسسات الصناعية بالمنطقة الجنوبية، مما يسهل عملية التدخل السريع وتقديم الخدمات بفعالية أكبر. كما بينت الدراسة وجود طلب متزايد على خدمات الصيانة التنبؤية في ظل التوجه المتسارع نحو الصناعة الذكية واعتماد تقنيات مراقبة الحالة.

ورغم بعض التحديات التي قد تواجه المشروع، مثل ارتفاع تكاليف التجهيزات التقنية والحاجة إلى كفاءات متخصصة، إلا أن اعتماد استراتيجيات مناسبة للتكوين والتطوير المستمر من شأنه أن يساهم في تجاوز هذه الصعوبات وضمان استمرارية النشاط.

وفي النهاية، يمكن التأكيد أن هذا المشروع قابل للتجسيد على أرض الواقع، ويمتلك فرص نجاح وتوسع كبيرة، نظراً لما يوفره من قيمة مضافة للمؤسسات الصناعية، وما يحققه من فوائد اقتصادية وتقنية، بالإضافة إلى مساهمته في تطوير قطاع الصيانة الصناعية وتعزيز تنافسية الصناعة الوطنية.

3. تطلعات المشروع (الأهداف المستقبلية)

انطلاقاً من الأسس العلمية والتقنية التي يقوم عليها مشروع تطبيق استراتيجية الصيانة التنبؤية بالاعتماد على التحليل الاهتزازي للآلات الدوارة، يضع فريق المشروع مجموعة من الأهداف المستقبلية الطموحة التي يسعى إلى تحقيقها على المدى القصير والمتوسط والبعيد.

فعلى المدى القصير (من سنة إلى سنتين)، يهدف المشروع إلى ترسيخ مكانته في السوق الصناعية من خلال إبرام عقود صيانة مع عدد من المؤسسات الصناعية بولاية غرداية والولايات المجاورة، وتوسيع قاعدة العملاء، مع تطوير الكفاءات البشرية المتخصصة في مجال التحليل الاهتزازي والصيانة التنبؤية. كما يسعى المشروع إلى اقتناء تجهيزات أكثر تطوراً وتحسين جودة الخدمات المقدمة لضمان رضا العملاء وكسب ثقتهم.

أما على المدى المتوسط (من ثلاث إلى خمس سنوات)، فيطمح المشروع إلى توسيع نشاطه ليشمل مختلف المناطق الصناعية في الجنوب الجزائري، مع تقديم خدمات متكاملة لمراقبة حالة المعدات وتشخيص الأعطال. كما يهدف إلى إدماج أنظمة رقمية متطورة لتخزين وتحليل البيانات وتطوير حلول أكثر دقة وفعالية في مجال الصيانة الصناعية.

وعلى المدى البعيد (من خمس إلى عشر سنوات)، يسعى المشروع إلى أن يصبح مرجعاً وطنياً في مجال الصيانة التنبؤية والتحليل الاهتزازي، من خلال تطوير خدمات استشارية متخصصة، وإدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي في تشخيص الأعطال والتنبؤ بها، وإنشاء مركز للتكوين والبحث في مجال مراقبة حالة المعدات الصناعية. كما يهدف إلى المساهمة في تطوير الكفاءات الوطنية وتعزيز التحول نحو الصناعة الذكية في الجزائر.

إن هذه التطلعات تمثل خارطة طريق واضحة للمشروع، وتعكس الرغبة في بناء مؤسسة مستدامة ومبتكرة قادرة على تقديم قيمة مضافة حقيقية للقطاع الصناعي والمساهمة في دعم الاقتصاد الوطني.

الملحقات

أسعار الأجهزة

السعر	الموقع الرسمي	الشركة المصنعة	النوع/الموديل	الجهاز
1,950,000 دج	https://www.fluke.com/en-us/product/mechanical-maintenance/vibration-analysis/fluke-810	https://www.fluke.com	Fluke 810 Vibration Tester	جهاز تحليل الاهتزازات
81,000 دج	https://www.fluke.com/en-us/product/mechanical-maintenance/vibration-analysis/fluke-810	https://www.fluke.com	Accelerometer 100 mV/g	حساس الاهتزاز
60,000 دج	https://www.dell.com	https://www.dell.com	Dell Latitude 5540	حاسوب محمول
675,000 دج	https://www.skf.com/group/products/condition-monitoring	https://www.skf.com	SKF @ptitude Analyst	برنامج تحليل البيانات
121,500 دج	https://www.flir.com/products/c5/	https://www.flir.com	FLIR C5 Thermal Camera	كاميرا حرارية
47,250 دج	https://www.fluke.com	https://www.fluke.com	Fluke 931 Tachometer	جهاز قياس سرعة الدوران

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة

والمؤسسات المصغرة



الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة غرداية

الرقم: 47/015 /

شهادة تكوين في المقاولاتية مؤقتة

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة): **عبد الرؤوف غريقة** الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: 1,0002150102e+17

الكلية: كلية العلوم والتكنولوجيا

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية وإنشاء المؤسسات المصغرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة: من 2026/04/05 إلى 2026/04/23

حرر بغرداية 2026/05/31

مدير تطوير المقاولاتية



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة اقتصاد المعرفة والمؤسسات الناشئة

والمؤسسات المصغرة



الوكالة الوطنية لدعم وتنمية المقاولاتية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة غرداية

الرقم: 47/015 / 11:42:4

شهادة تكوين في المقاولاتية مؤقتة

الحامل (ة) للرقم التعريفي الوطني الوحيد: '109881491000070007

يوسف الراعي

سلمت هذه الشهادة الى السيد (ة):

الكلية: كلية العلوم والتكنولوجيا

إثباتا لمتابعته (ها) للدورة التكوينية في المقاولاتية وإنشاء المؤسسات المصغرة، المنظمة خلال الفترة الممتدة: من 2026/04/05 إلى 2026/04/23

حرر بغرداية 2026/05/31

مدير تطوير المقاولاتية





شعبة : إكلية دكتور هيكانيك
غرداية في : 2026 1.09.1974
تخصص : فنية فنية فنية

انا الاستاذ(ة) : بي. اوى صالح

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (اليسكنيس/ماستر/دكتورا) المعنونة بـ:

Implémentation d'une stratégie de maintenance prévisionnelle
par analyse vibratoire des machines tournantes chez ALFAPIPE
من انجاز الطالب (الطالبة): GHARBAIA (décision)
1275

.....غريفة عبد الرؤوف.....

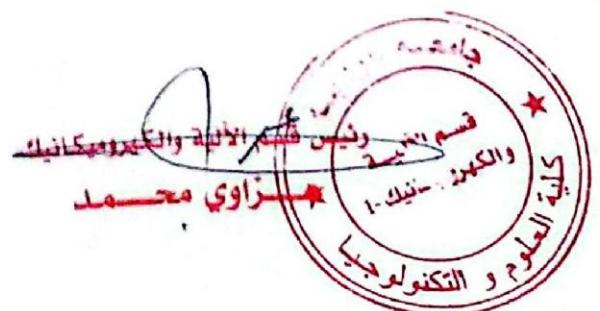
..... إلى الحسن بن يوسف

التى نوقشت بتاريخ : 2026/06/11

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام /قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة.



امضاء المسؤول عن التصحيح
مصادقة رئيس القسم





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Université de Ghardaïa
Centre de Développement d'Entrepreneuriat

جامعة غرداية
مركز تطوير المقاولاتية

اذن بإيداع مذكرة

بتاريخ يصرح الأستاذ(ة):
بصفته مشرفاً رئيسياً على مذكرة ليسانس/الماستر في إطار القرار 1275 المعدل والمتعم
(مؤسسة مصغرة)

القسم:
الكهروميكانيك

التخصص:
ميكانيكية

للتأليف(ة):
الموسم الجامعي 2025/2026
يوسف

بأن المذكرة المعنونة ب:
Implementation d'une stratégie de Maintenance prévisionnelle
par analyse vibratoire des machines tournantes chez ALFAPIPE
GHARDAIA

تم إنجازها ومراجعتها وعليه يُسمح للطلاب بإيداعها للمناقشة لدى مصالح مركز تطوير
المقاولاتية عبر الطرق المعلن عنها

إمضاء الأستاذ المشرف الرئيسي