

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement supérieur et de La Recherche scientifique

**Université Kasdi Merbah Ouargla Faculté
Des Sciences Appliquées Département De
Génie Mécanique**



Mémoire de Fin d'études

**En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER**

Domaine : Sciences et de Technologie Filière :
Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Présenté Par :

Khelfaoui Ahmed khelifa

Beladjal Azzeddine

Thème

**Utilisation des ultrasons pour détecter
les défauts internes des produits**

Soutenue publiquement le 13/06/2023

Devant le jury

KHALFI Mehdi	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Président
ABDELKRIM Mourad	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Encadreur
CHIBA Elhocine	Doctorant	Université Kasdi Merbah Ouargla	Co-encadreur
BATOCHE Mona	MCB	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

Je tiens tout d'abord à remercier

Dr. Abd el Krim Mourad et Mr. Chiba el Hocine pour leur encadrement, leurs conseils avisés, leur disponibilité et leur patience tout au long de cette expérience.

Je tiens également à remercier membres du jury pour leur précieuse contribution lors de la discussion de ma thèse.

Je remercie Université Kasdi Merbah de Ouargla pour me permettre de mener cette recherche et de me donner les moyens d'entreprendre ce travail.

Je n'oublierai pas de remercier ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes études, ainsi que pour leur patience et leur compréhension dans les moments difficiles.

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

Merci à tous!

Dédicace

Nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant, dont la grâce et la bonté ont guidé notre travail du début à la fin. Nous dédions humblement ce travail à tous ceux que nous aimons. Nous remercions tout particulièrement ma mère et mon père, la personnalité idéale des parents qui ont fait beaucoup de sacrifices pour ma réussite et mon accès à ce sommet, ma mère et mon père, une source inépuisable d'inspiration. Nous tenons également à exprimer ma gratitude à mes frères et sœurs, qui m'ont apporté un soutien inestimable tout au long de mon parcours, ainsi qu'à mes amis et à toutes les personnes qui m'ont donné la force et la motivation nécessaires pour mener à bien ce projet. Enfin, je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

KHELFAOUI AHMED KHELIFA.



Dédicace



En témoignage d'amour et d'affection, je dédie ce modeste travail avec une grande fierté à tous ceux qui me sont chers :

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

** Mon très cher père **BELADJAL Mohamed**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

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

Mon chère frère **Abdelhak et **Riad** et **bader dine** et **Aymen** et mes belles sœurs **A** et **Setses** filles **Serine** et **Arriame** puisse Dieu vous donne santé, bonheur et réussite.*

Mon chère oncle **Bachire mon modèle merci pour tous ce que tu me donne.*

** Mon Ami **Ahmed**.*

Beladjal Azzeddine

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire.....	III
Sommaire.....	IV
Sommaire.....	V
Sommaire.....	VI
Sommaire.....	VII
Liste des figures.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	X

Sommaire

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

Chapitre I : Comprendre la maintenance : méthodes et applications

I. Introduction.....	3
I.1.1 Histoire de la maintenance.....	3
I.1.2 Définitions de la maintenance.....	4
I.1.3 Les outils de la maintenance.....	4
I.1.4 Les différents types de maintenance.....	4
I.1.5 Maintenance corrective.....	5
I.1.6 Différents types de maintenance corrective.....	6
a Maintenance palliative (Dépannage).....	6
b Maintenance curative.....	6
I.1.7 Les opérations de la maintenance corrective.....	6
I.1.8 Les opérations de la maintenance préventive.....	6
I.2 Différents types de maintenance préventive.....	6
I.2.1 Maintenance préventive.....	6
a. Maintenance préventive systématique.....	6

b. Maintenance préventive conditionnelle.....	6
c. Maintenance préventive prévisionnelle.....	7
I.3. Avantages et inconvénient de la Maintenance préventive et corrective.....	7
a. Avantages.....	7
b. Inconvénients.....	8
I.4 Buts de la maintenance.....	8
I.5 Les différents niveaux de maintenance.....	8
I.6 Application de la maintenance dans le secteur industriel.....	9
I.7 Transport ferroviaire.....	9
I.7.1 Différents modes de transport ferroviaire.....	10
I.7.1.1 Trains.....	10
I.7.1.2 Métro.....	10
I.7.1.3 Monorail	11
I.8.1 Principaux défauts dans les rails et méthodes de détection de ces défauts.....	12
a. Fissuré.....	12
b. déformations.....	12
c. L'usure.....	13
I.8.2 Les méthodes de détection de défauts dans les rails.....	14
I.8.3 Les méthodes destructives et non destructives.....	14
a. Le contrôle non destructif.....	14
b. Le contrôle destructif.....	14
I.8.4 Divers types de contrôles.....	15
I.8.5 Présentation des contrôles non destructifs.....	15
I.8.6 Les méthodes de CND couramment employées.....	16
A- Le contrôle visuel.....	17
B- Le contrôle par ressuage.....	17
C- Le contrôle par magnétoscopie.....	18

I.9.1 Les Avantages des CND.....	19
I.9.2 Les Inconvénients des CND.....	19
I.10.1 Défauts.....	20
a. Défauts interne.....	20
b. Défauts de surface (débouchant).....	21
I.10.2 Le contrôle par Ultra-sons.....	21
I.10.3 Définition ultra-sons.....	22
I.10.4 Le principe de l'appareil à ultrasons.....	22
I.11.1 Les divers types d'ondes ultrasonores.....	23
a. Ondes longitudinales.....	23
b. Ondes transversales.....	23
c. Longueur d'onde.....	24
I.11.2 Les techniques du contrôle ultra-sons.....	25
1. Contrôle par échographie ultrasonore.....	26
2. Contrôle par transmission.....	27
I.11.3 Les traducteurs ultrasonores.....	28
Les palpeurs droits.....	29
Les palpeurs d'angles.....	29
I.12. Les avantages et inconvénients.....	29
a. Avantages.....	29
b. Inconvénients.....	30
I.13. Conclusion.....	30

Chapitre II : Techniques d'inspection par ultrasons des rails

II.1 Introduction.....	31
II.2 L'appareil ultrasonore.....	31
II.2.1 Le traducteur.....	32
II.2.2 Le câble coaxial.....	32

II.3 Les défauts dans le champignon du rail	33
II.3.1 Les fissures verticales.....	33
II.3.2 Les squats.....	34
II.3.3 Les Head-checks.....	35
II.4. Les différentes techniques de contrôles ultrasonores	36
II.4.1. Contrôle par contact.....	36
II.4.2. Contrôle en immersion.....	36
II.4.3. Contrôle automatique des grandes structures par Ultrasons.....	36
II.4.4. La technique TOFD.....	37
II.5. Méthodes de mesure par ultrasons.....	37
II.6. Conclusion.....	38

Chapitre III : Analyse et interprétation des résultats

III.1. Introduction.....	39
III.2 Tramway	39
III.3. Composants de la voie.....	40
A. Rail Vignole.....	40
B. Rail gorge.....	40
III.3.2 Le taquet d'arrêt.....	41
III.4. Ligne du tramway d'Ouargla.....	41
III.4.1 Des informations général.....	42
III.4.2 Présentation de la ligne du tramway d'Ouargla.....	42
III.4.3Caractéristiques de la rame	42
III.5 stages au sein de la société SETRAM.....	43
III.6. Présentation du rail.....	43
III.7. Caractéristiques des rails.....	44
III.8. Etude expérimentale.....	44

III.9. Inspection des défauts internes par ultrason.....	45
III.10. Méthode de mesure.....	46
III.11. Les étapes par lesquelles passe l'appareil à ultrasons pour détecter le défaut du rail...	47
III.12. Résultats de mesure.....	47
III.13. Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51
Résumé.....	52
Bibliographie.....	53

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 Les types de maintenance.....	05
Figure I.2 : Trains (charbon, pétrole et électricité).....	10
Figure I.3 : Métro.....	11
Figure I.4: Monorail.....	11
Figure I.5 : Fissure de rail.....	12
Figure I.6 : déformations des rails.....	13
Figure I.7 : Exemple d'usure ondulatoire sur un rail en ligne droite.....	13
Figure I.8 Les trois phases du contrôle non destructif.....	15
Figure I.9: Contrôle par ressuage.....	18
Figure I.10: Les étapes du contrôle de magnétoscopie.....	19
Figure I.11 Défaut interne.....	20
Figure I.12 Défauts de surface.....	21
Figure I.13 : Schéma représente le principe de l'appareil à ultrason.....	23
Figure I.14: Propagation des ondes longitudinales et ondes transversales.....	24
Figure I.15 : L'écho de la surface et l'écho de la face intérieure de la pièce.....	26
Figure I.16 : Un dessin montrant une fissure.....	26
Figure I.17 : Contrôle en 1/2 bond par parcours direct.....	27
Figure I.18: Contrôle en 1 bond après rebond de l'onde sur le fond de la pièce.....	27
Figure I.19 : Ondes longitudinales et transversales.....	28
Figure I.20 : Analyse de l'amplitude de l'écho.....	28
Figure I.21 : Les palpeurs droits.....	29
Figure I.22 : Les palpeurs d'angles.....	29

Chapitre II

Figure. II.1: Appareil à ultrasons utilisé..... 31

Figure. II.2 : Palpeur longitudinale et Palpeur transversal..... 32

Figure. II.3: Câble de connexion..... 33

Figure. II.4 : Fissures vertical.....34

Figure. II.5: Squat : écrasement surfacique.....34

Figure. II.6: Squat : propagation vers l'intérieure..... 35

Figure II.7: Head-check..... 36

Figure. II.8: Principe de la technique T.O.F.D..... 37

Figure. II.9: Technique de test par ultrasons.....38

Chapitre III

Figure III.1 : Tramway d'Ouargla.....39

Figure III.2 : Coupe d'un rail type Vignole..... 40

Figure III.3 : Coupe d'un rail à gorge..... 40

Figure III.4 : Taquet d'arrêt d'un tramway..... 41

Figure III.5 : La ligne du tramway d'Ouargla et ses principales stations 41

Figure III.6 : Rail à gorge du tramway d'Ouargla.....43

Figure III.7 : Joint de soudeur du rail.....45

Figure III.8 Points de mesure dans la ligne du Tramway de Ouargla..... 45

Figure III.9 Détecteur des défauts internes type de JITAI9101..... 46

Figure III.10 Ces valeurs représentent des valeurs de référence des zones..... 49

Figure III.11 Mesure la dimension des défauts internes pour point 01..... 49

Figure III.12 Mesure la dimension des défauts internes pour point 03.....49

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Les avantages de la maintenance corrective et préventive.....	07
Tableau I.2 Les inconvénients de la maintenance corrective et préventive.....	08
Tableau I.3 Niveaux de maintenance.....	09
Tableau I.4: Divers types de contrôles.....	15
Tableau I.5: Méthodes de CND couramment employées.....	16
Tableau I.6: Domaine d’ultra-sons.....	22
Tableau I.7: Montre la vitesse de diffusion dans les médias les plus courantes.....	25

Chapitre II

/

Chapitre III

Tableau III.1 Caractéristiques des rails du tramway d’Ouargla.....	45
Tableau III.2 Représente les résultats de mesure des points de soudure partir de la couche extérieure de la surface du rail.....	47

Introduction
générale

Introduction générale

La maintenance joue un rôle essentiel dans toute entreprise en garantissant la disponibilité, la fiabilité et la sécurité de ses équipements et installations de production. Elle agit souvent en tant que prestataire de services interne, fournissant un soutien à la production pour assurer la qualité, la sécurité, le respect des délais et la productivité globale de l'entreprise. Cependant, intégrer la maintenance au sein de l'appareil de production peut être un défi, car cela nécessite de simplifier les rôles et les responsabilités des différentes fonctions au sein d'un environnement complexe.

La technique de contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle non destructif qui utilise des ondes mécaniques et élastiques pour détecter les défauts dans les matériaux sans compromettre leur intégrité. Cette méthode est largement utilisée dans l'industrie manufacturière pour inspecter les produits semi-finis, les produits finis et les productions en série.

Les chemins de fer jouent un rôle crucial dans les systèmes de transport modernes. Cependant, les rails et autres composants des chemins de fer sont soumis à d'importantes contraintes et à des conditions environnementales difficiles, ce qui peut entraîner l'apparition de défauts internes et de surface. Pour détecter ces défauts, nous avons identifié une méthode non destructive utilisant des appareils à ultrasons pour localiser précisément ces problèmes.

Les défauts sont souvent présents dans les soudures entre les rails, en particulier dans la table de roulement et l'âme du rail. Ces défauts peuvent avoir des conséquences graves, tels que des accidents de train et des coûts élevés de maintenance. Il est donc essentiel de comprendre les causes de ces défauts et de mettre en œuvre des méthodes efficaces, comme celle-ci, pour détecter ces problèmes de manière précoce et prévenir leur apparition. Cela permettra d'assurer la sécurité et la fiabilité du réseau ferroviaire.

Notre mémoire se compose de 3 chapitres et se présente comme suit :

Chapitre I : Contient une description générale sur les méthodes destructives et non destructives, ainsi que l'identification de la maintenance, et ses objectifs, dans la partie deuxième nous représentons le transport ferroviaire et les principaux défauts dans les rails.

Chapitre II : Contient la procédure et la méthode expérimentale sur site du tramway Ouargla pour l'inspection des rails par ultrason.

L'analyse et interprétation des résultats de l'inspection dans la table de roulement et dans l'âme du rail de tramway d Ouargla a été représenté dans le chapitre III :

Les principaux résultats sont regroupés dans la conclusion générale.

Chapitre I

Comprendre la maintenance : méthodes et applications

I. Introduction

La maintenance n'est qu'un soutien à la production, agissant comme prestataire de service interne, fortement évolutive. Elle est un facteur important de qualité, de sécurité de respect des délais et de productivité, Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe [1].

Dans ce chapitre, nous allons aborder la maintenance des lignes de voie de transport en tramway d'Ouargla. Pour bien comprendre ce sujet, nous commencerons par définir la maintenance et présenter ses différents types ainsi que leurs buts respectifs. Nous discuterons également des avantages et inconvénients de la maintenance préventive et corrective.

I.1.1 Histoire de la maintenance

De nombreux évènements se sont produits depuis le début de la révolution industrielle. Cependant, les changements les plus draconiens se sont déroulés dans les cinquante dernières années. Ces changements ont influencé la maintenance et l'entretien de tous les complexes industriels.

Avant la Seconde Guerre mondiale, les équipements industriels étaient imposants, vieillissants et au roulement assez lent. Ils se contrôlaient à partir d'un système élémentaire et d'instrumentation. Étant donné que la demande de l'époque n'était pas aussi élevée que celle d'aujourd'hui, ce facteur ne posait pas encore de problèmes. Les différents équipements étaient solides et robustes. On retrouvait dans certaines usines des machines qui fonctionnaient aussi bien le premier jour que 20 ans plus tard.

Après la guerre, la reconstruction industrielle a recommencé. Le marché est devenu de plus en plus compétitif, ce qui poussa les propriétaires d'usine à augmenter le rythme de leur production. L'utilisation excessive des machines entraîna de plus en plus de pannes et des coûts de plus en plus élevés en réparation. L'augmentation de la production et ainsi de l'utilisation des équipements industriels entraînèrent le développement de la maintenance préventive. Depuis les années 1980, les complexes industriels et les systèmes de production sont devenus de plus en plus spécialisés et complexes. De plus, la compétitivité du marché ainsi que l'intolérance devant une panne n'ont cessé d'augmenter. Ce phénomène inévitable entraîna également l'augmentation du prix de la maintenance industrielle [2].

I.1.2 Définitions de la maintenance

D'après la norme AFNOR X 60-000 (Association française de normalisation), La maintenance est l'ensemble des actions techniques, administrative et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [3].

I.1.3 Les outils de la maintenance

Tout comme l'intervention technique de maintenance, l'organisation et la gestion des activités de maintenance nécessitent l'emploi d'outils d'usages et de natures différentes [4] :

➤ Outils mathématiques

Pour choisir les politiques de maintenance les mieux adaptées à chaque type d'équipement, déterminer les périodes d'intervention, connaître la fiabilité, maintenabilité, disponibilité.... (Probabilités, lois statistiques, algèbre des événements, analyses markoviennes...).

➤ Outils organisationnels

Pour faciliter la prise de décisions (AMDEC, Synoptiques, Logigrammes...), la mise en œuvre de la maintenance préventive (techniques de contrôle), ou l'organisation des interventions (procédures et modes opératoires).

➤ Outils informatiques

Pour la gestion des éléments maintenus, des ressources utilisées et des budgets (GMAO), ou pour l'aide à la décision (Systèmes experts).

I.1.4 Les différents types de maintenance

Les différents types de maintenance sont illustrés dans le diagramme ci-dessous, qui présente les principaux types de maintenance tels que la maintenance corrective, préventive, conditionnelle et prédictive [5].

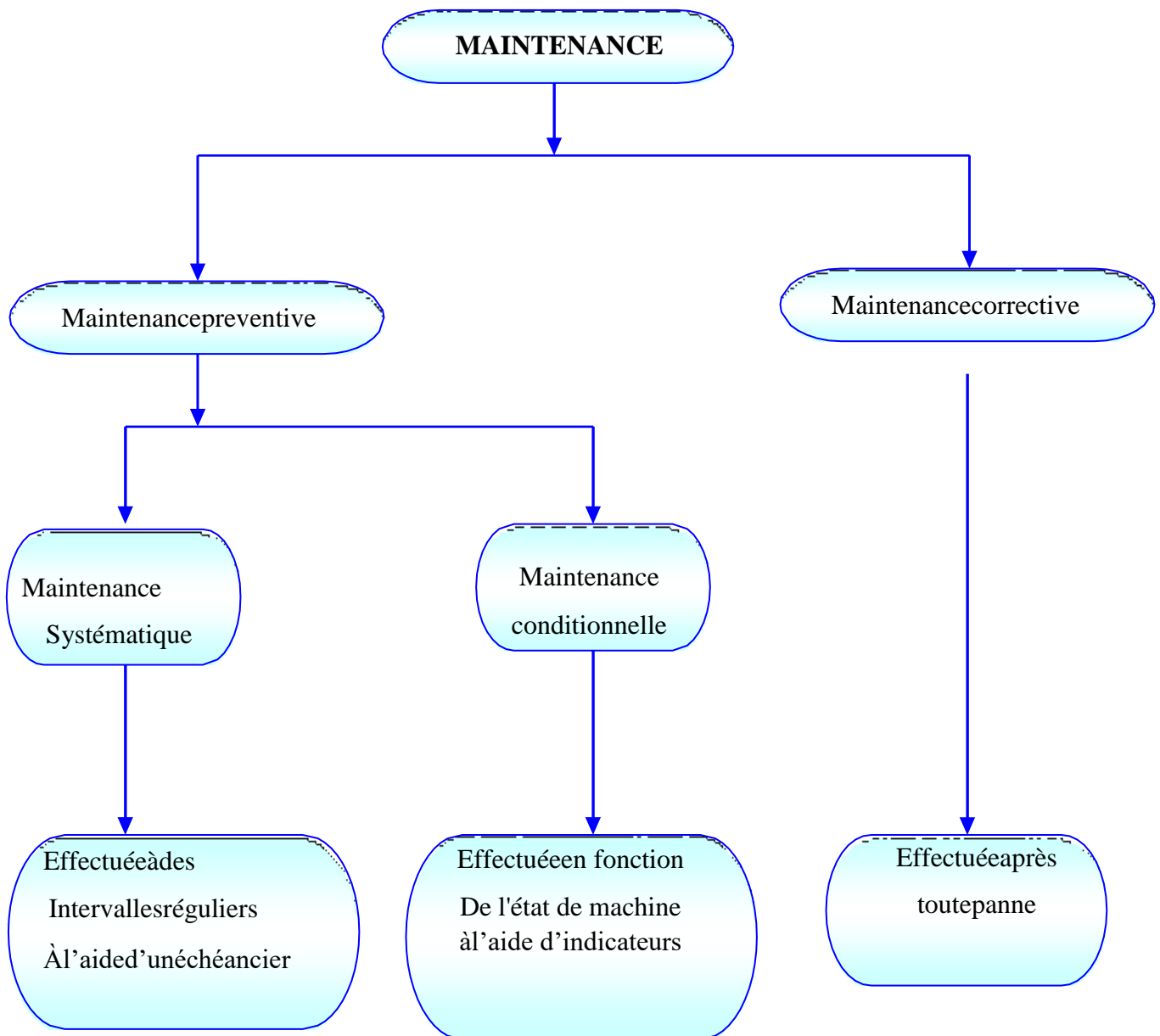


Figure I.1 Les différents types de maintenance [5].

I.1.5 Maintenance corrective

Selon toujours la norme AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ». Il y a deux types de Maintenance corrective [2].

I.1.6. Différents types de maintenance corrective

Cet entretien est divisé en deux parties qui sont les suivantes[4].

a) Maintenance palliative (Dépannage)

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise [6].

b) Maintenance curative

Ce sont des activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir totalement sa fonction requise [5].

I.1.7. Les opérations de la maintenance corrective

Les opérations de la maintenance corrective débouche sur 2 types d'interventions dépannage, réparation Elles destinées à permettre à un bien d'accomplir totalement sa fonction requise [5].

I.1.8 Les opérations de la maintenance préventive

Elles peuvent être regroupées en 3 familles : les inspections, les contrôles, les visites. Elles permettent de maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles peuvent être effectuées de manière continue ou à des intervalles, prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage [5].

I.2 Différents types de maintenance préventive

I.2.1 Maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien [1].

a. Maintenance préventive systématique

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien [1].

b. Maintenance préventive conditionnelle

La maintenance conditionnelle se traduit par une surveillance des points sensibles de l'équipement, exercée au cours de visites préventives. Ces visites soigneusement préparées,

permettent d’enregistrer un degré d’usure, un jeu mécanique, une température, une pollution, ou tout autre paramètre qui puisse mettre en évidence l’imminence d’une défaillance [4].

c. Maintenance préventive prévisionnelle

Parfois appelée « maintenance prédictive », la maintenance prévisionnelle est, selon l’AFNOR, « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l’analyse et de l’évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Elle est basée sur l’analyse de l’évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l’état du bien et de détecter les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet d’anticiper et de prévoir au mieux le moment où l’intervention devra être réalisée[2].

I.3. Avantages et inconvénient de la Maintenance préventive et corrective

Malgré que la maintenance que la maintenance préventive porte beaucoup d’avantage par rapport à la maintenance corrective. Mais, elle présente certains inconvénients qu’il faut tenter à les réduire[6].

a. Avantages

Tableau I.1 : Les avantages de la maintenance corrective et préventive.

La Maintenance preventive	La Maintenance corrective
<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la sécurité. - Amélioration de la productivité. - réduction des coûts. - Réduire la consommation d’énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire les besoins de maintenance d'urgence. - Moins de risques d'accidents. - Fournit des informations suffisantes concernant le remplacement, l'entretien et la réparation.

b. Inconvénients**Tableau I.2 :** Les inconvénients de la maintenance corrective et préventive.

La Maintenance préventive	La Maintenance corrective
<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes budgétaires. • Consommation de temps. • Difficultés organizationally. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retards dans les calendriers de production. • Perte de profit. • Faire des heures supplémentaires.

I.4. Buts de la maintenance

Les principaux buts de la maintenance sont [5] :

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

I.5. Les différents niveaux de maintenance

La norme NF X 60-000 (avril 2016) définit, à titre indicatif, cinq « niveaux de maintenance » (comprendre « interventions »)[1].

Tableau I.3 : Niveaux de maintenance [1].

Niveau	Personnel intervention	Nature de intervention	Moyens requis
1	Exploitant ant, sur place	Réglage ou échanges d'organes accessibles sans aucun démontage	Outillage léger défini dans les consignes de conduite
2	Technicien habilité (dépanneur) sur place	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou opérations mineures de maintenance préventive	Outillage standard et rechanges situés à proximité
3	Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance	Identification et diagnostics de pannes, réparations par échange de composants fonctionnels,	Outillage prévu plus appareils de mesure.
4	Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Outillage general et specialise
5	Équipe complète polyvalente, en atelier central	Réparations importantes confiées à un atelier central Souvent externalisés	Moyens proches de ceux de la fabrication par le constructeur

I.6. Application de la maintenance dans le secteur industriel

En maintenance industrielle, nous étudions de nombreuses problématiques. À travers notre étude, nous abordons le contrôle non destructif afin de détecter les défauts internes au niveau du rail de tramway d'Ouargla par la méthode d'ultrasons.

I.7. Transport ferroviaire

Ce moyen de transport est primordial vu leur avantage et la qualité de service en le comparant avec le transport routier. Il se caractérise par les avantages suivants : Grande capacité de transports de voyageurs et marchandises, manque d'encombrement de la route et respect des délais, bonne sécurité. Mais, il souffre de certains inconvénients tel que le réseau ferroviaire est limité et des tarifs élevés en comparant avec le transport routier [7].

I.7.1 Différents modes de transport ferroviaire

Le transport ferroviaire en Algérie est divisé en trois modes ils sont comme suit[6].

I.7.1.1 Trains

Le train est un moyen de transport qui transporte des passagers et des marchandises d'un endroit à un autre. C'est une série de véhicules connectés qui se déplacent sur un chemin spécifique appelé "lignes de chemin de fer". Ces lignes se composent généralement de deux voies dans deux directions différentes, mais parfois la ligne peut être constituée d'une seule voie, et fonctionne sous plusieurs formes d'énergie (charbon, pétrole et électricité).



Figure I.2 :Trains (charbon, pétrole et électricité)[6].

I.7.1.2 Métro

C'est un mode de transport urbain, utilisant des trains de chemin de fer (principalement) pour transporter des passagers en grand nombre. Les voies de métro sont des tunnels souterrains, entrecoupés (parfois) de sections à la surface de la terre, dont la plupart sont des ponts.

Le métro, ou métropolitain, ou parfois appelé "chemin de fer souterrain", est un système qui utilise exclusivement la traction électrique et utilise généralement la roue en acier traditionnelle sur un système de guidage sur rail (bien que parfois des roues à pneus soient utilisées), sur un couloir exclusif.



Figure I.3 : Métro [6].

I.7.1.3 Monorail

Le monorail est un système de transport léger sur rail électrifié. Ce mode de transport (de manière typique, un train articulé) est formé d'un petit nombre de véhicules (2 à 6), et dans la plupart des cas, il se déplace via des roues à pneus, sur une voie permanente surélevée (voie de guidage).

Le système couvre souvent de courtes distances, Il développe des vitesses de course maximales de $V_{max} = 60-90$ km/h et des vitesses commerciales de $V_c = 20-40$ km/h. Il est surtout proposé pour le transport dans les lieux de loisirs (parcs thématiques, zoos, etc.) mais ils ont également été introduits récemment, comme un moyen de contourner les problèmes de pénurie foncière dans les villes congestionnées (en Chine, en Corée du Sud) [6].



Figure I.4: Monorail [6].

I.8.1 Principaux défauts dans les rails et méthodes de détection de ces défauts

a. Fissuré

La fissure est un défaut ou une discontinuité brutale apparue ou apparaissant dans un matériau sous l'effet de contraintes internes ou externes, où la matière est séparée sur une certaine surface. Tant que les forces de contraintes ne sont pas libérées, elle entraîne une grande concentration de contrainte à son fond.

Sa propagation, sous l'effet de contraintes suffisantes (voir le critère de Griffith), combinée ou non avec un environnement agressif (corrosion sous contrainte) mène à la rupture.

La détection impérative des fissures d'embouchâtes de rail (figure I.5) [8] :



Figure I.5 : fissure des rail [8].

b. Déformations

Les déformations des rails liées au contrainte peuvent être responsable de situations critiques. Les contraintes peuvent être issues de forte variation de température provoquant des allongements ou des rétractions des rails. Les mesures de contrainte, non intrusive, permettent un diagnostic et des alertes sur ces problématiques. Le vieillissement des infrastructures peut aussi aboutir à des situations imposant la surveillance des déformations par analyse de l'évolution des contraintes sur les rails. Cette surveillance apporte une information constante sur la vie du rail et le comportement global de la voie.



Figure I.6 : déformations des rails[9].

c. L'usure

L'usure ondulatoire est un phénomène d'usure périodique qui apparaît principalement sur la table de roulement des rails, mais aussi parfois sur celle des roues sous forme d'une alternance de zones brillantes et mates, comme expliquée Figure I.7 [10].



Figure I.7: Exemple d'usure ondulatoire sur un rail en ligne droite.

I.8.2 Les méthodes de détection de défauts dans les rails

Il existe différentes techniques pour détecter les défauts qui peuvent se produire à l'intérieur des rails (par exemple, les fissures, les défauts de soudure, les défauts de fatigue, etc.), et que l'une de ces techniques est l'utilisation des ultrasons.

Les ultrasons sont une technique couramment utilisée pour détecter les défauts internes dans les rails. Cette technique utilise des ondes sonores à haute fréquence qui sont envoyées à travers le rail. Lorsque ces ondes rencontrent un défaut, elles sont réfléchies et renvoyées vers le capteur. En mesurant la durée et l'intensité de ces ondes réfléchies, il est possible de détecter la présence et la nature du défaut.

I.8.3 Les méthodes destructives et non destructives (CND)

a. Le contrôle non destructif (CND)

Ensemble des méthodes qui permet de caractériser l'état d'intégrité des structures industrielles sans les dégrader, soit au cours de la production (les pièces qui sortent des fonderies ne sont jamais exemptes de défaut), soit en cours d'utilisation (apparition de défaut). Il faut donc déterminer qu'elle taille de défaut est acceptable de façon empirique à la casse (destruction) ensuite pouvoir les détecter sans détruire la pièce. Nous parlons aussi d'essais non destructifs ou d'examen non destructifs (CND), ce qui évoque plutôt les examens en laboratoire que la qualité industrielle.

En ce sens, le CND apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité et de la santé des produits. Il se différencie de l'instrumentation de laboratoire et industrielle puisque l'objectif est la détection et la mise en évidence des hétérogénéités, anomalies et défauts susceptibles d'altérer la disponibilité, la sécurité d'emploi et plus généralement la conformité d'un produit à l'usage qu'il est destiné, plutôt que de mesurer des paramètres physiques tels que le poids ou les cotes d'une pièce [11].

b. Le contrôle destructif

Les méthodes destructives sont fondées sur la fragmentation des macromolécules en unités plus petites accessibles aux moyens classiques d'analyse. Bien qu'indirectes, dans la mesure où il est nécessaire de faire des hypothèses sur le mécanisme de fragmentation pour remonter à la structure initiale, ces méthodes se révèlent irremplaçables dans de nombreux cas où il est impossible de réaliser des échantillons convenables pour une méthode non destructive [13].

I.8.4 Divers types de contrôles

Ce tableau nous montre les différents types de contrôles :

Tableau I.4: Divers types de contrôles [12].

Contrôles destructifs	Contrôle pur destructif	Contrôles non destructifs
Essais mécaniques classiques sur éprouvettes normalisées traction, compression, flexion, torsion... Essais de fatigue. Essais normalisés de pliage et de formage. Essais de mécanique de la rupture. Essais de corrosion et de corrosion sous contraintes.	Essais de dureté.	Examens visuels. Ressuage. Magnétoscopie. Courant de Foucault Ultrason. La thermographie. L'émission acoustique. La radiographie.

I.8.5 Présentation des contrôles non destructifs CND

Les trois phases du contrôle non destructif sont [12] :

- Excitation.
- Révélation.
- Perturbation.

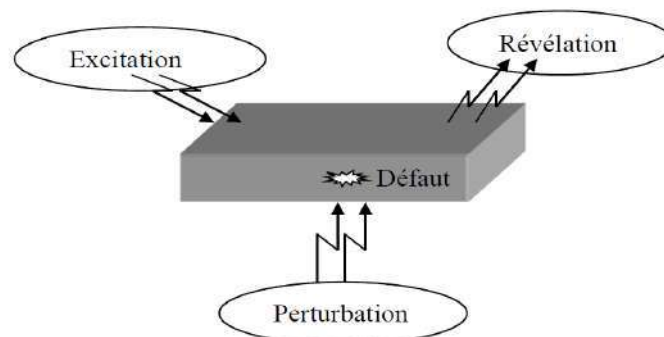


Figure I.8: Les trois phases du contrôle non destructif [12].

I.8.6 Les méthodes de CND couramment employées

Les méthodes de Contrôle Non Destructif (CND) les plus couramment employées sont représentées sur le tableau.

Tableau I.5: Méthodes de CND couramment employées[12].

Méthodes dites de surface	Méthodes dites volumique	Méthodes complémentaires
<ul style="list-style-type: none"> • Examens visuels. • Ressuage. • Magnétoscopie. • Courant induit ou courant de Foucault. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ultrason. • Rayonnement (radiographie). 	<ul style="list-style-type: none"> • La thermographie. • L'émission acoustique

-Les trois méthodes destructives sont principalement utilisées pour la fragmentation des macromolécules [13] :

- la fragmentation *thermolytique* (pyrolyse).
- la fragmentation *chi Mique*.
- la fragmentation *radiolytique*.

-Les méthodes utilisées pour les essais non destructifs (CND) sont [14] :

- Le contrôle visuel.
- Le contrôle par ressuage
- Le contrôle par magnétoscopie
- Le contrôle par radiographie : rayons X (RX) et gammagraphie (γ)
- Le contrôle par courant de Foucault
- Le contrôle par ultrasons (US)
- La détection par spectromètre de masse
- Les essais d'étanchéité à l'air ou au gaz
- La tomographie et neutrographie

Certains classent la thermographie et l'holographie parmi les techniques CND.

Dans ce qui suit on traitera les premiers contrôles et on insistera sur le contrôle ultrasons.

A- Le contrôle visuel

Le contrôle visuel est une technique essentielle qui donne un aperçu de l'état extérieur d'une pièce. Il est destiné à déceler les défauts tels que les fissures, les inclusions, et le manque de pénétration dans la soudure. Il implique l'utilisation de gabarits et de calibres. Pour le cas de la soudure on utilise des loupes, des caméras vidéo, des calibres et des règles graduées.

B- Le contrôle par ressuage

La technique est très ancienne et réside dans la simplicité de sa mise en œuvre. C'est une méthode globale qui autorise un examen de la totalité de la surface de la pièce. Elle permet de débiter la longueur des défauts indépendamment de leur orientation. On peut mettre en évidence des discontinuités débouchant de quelques dizaines de micromètres. Le contrôle par ressuage comporte trois étapes. La phase initiale consiste à nettoyer la surface de la pièce et d'appliquer un liquide pénétrant, soit par immersion, soit par pulvérisation. La durée d'application est variable selon le type de pénétrant, mais se situe en général entre 15 et 30 minutes. Le choix du liquide dépend essentiellement de la rugosité de la surface à contrôler. Le pénétrant peut être un produit coloré (faible sensibilité), un produit pré-émulsionné (sensibilité moyenne) ou un produit fluorescent (sensibilité élevée). Le pénétrant appliqué s'infiltrer dans les petits interstices débouchant en surface, un certain temps est nécessaire pour laisser « poser » le pénétrant. La deuxième étape consiste à rincer la surface de la pièce pour enlever l'excès de pénétrant. Cette opération est délicate parce qu'un rinçage excessif ou insuffisant permet de fausser le résultat final.

Dans la troisième étape on applique un révélateur, liquide ou sous forme de poudre, sur la surface rincée, puis séchée. Le liquide (pénétrant) qui s'est introduit dans les fissures « ressort » à la surface dans le révélateur et s'élargit au niveau du défaut. Il devient nettement visible par un éclairage approprié qui dépend du pénétrant utilisé. La méthode ne donne aucune indication sur le volume et donc de l'importance des défauts [14].

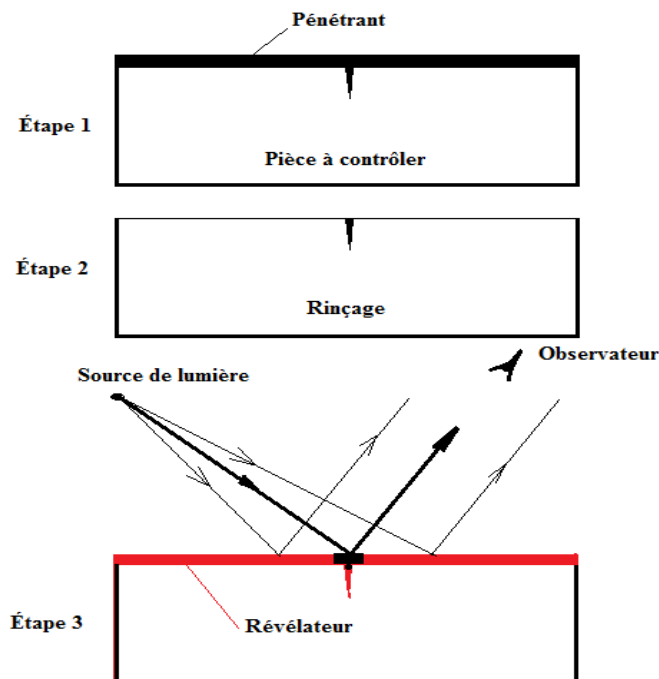


Figure I.9: Contrôle par ressuage [14].

c- Le contrôle par magnétoscopie

C'est une méthode applicable seulement aux matériaux magnétiques pour la détection des défauts débouchant en surface ou proche à la surface. À l'instar du ressuage, la magnétoscopie complète l'examen visuel. On a recours à la magnétoscopie lorsque le ressuage est insuffisant (les imperfections de surface restent peu visibles malgré tout le soin apporté). La pièce est aimantée localement ou totalement à une valeur proche de la saturation magnétique. En l'absence de défaut, les fuites dans l'air sont insignifiantes (la perméabilité du matériau étant beaucoup plus grande que celle de l'air). Toute discontinuité du matériau provoquera une diminution de la section de passage et donc une augmentation du champ d'induction magnétique (conservation du flux). Cette augmentation provoquera une fuite magnétique à la surface de la pièce. Des particules ferromagnétiques contenues dans un révélateur s'accumulent au droit du défaut. On observe le spectre résultant sous un éclairage adapté. L'avantage réside dans la simplicité de sa mise en œuvre. On peut apprécier la longueur des défauts de surface et ceux légèrement sous-jacents ; il est possible d'automatiser le contrôle. Dans la pratique, on procède à l'aimantation des pièces suivant deux techniques principales :

magnétisation par courant d'injection et par électro-aimant mobile. Les particules du produit révélateur doivent être suffisamment fines et légères pour circuler dans toute la pièce. Ainsi elles sont facilement attirées par les fuites magnétiques. Des poudres à base de produits fluorescents sont utilisées pour améliorer le contraste. Après examen le magnétisme

résiduel peut causer des problèmes ultérieurs (soudage, usinage) ; il est recommandé de procéder à la démagnétisation de la pièce en la soumettant à un champ magnétique dont on diminue progressivement l'intensité et inversant à chaque fois son sens.

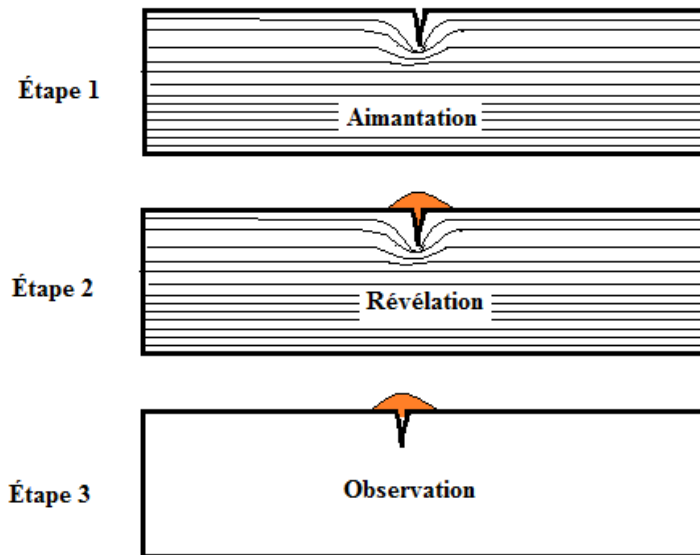


Figure I.10: Les étapes du contrôle de magnétoscopie [14].

I.9.1 Les avantages des CND

Les avantages du contrôle non destructifs (CND) sont [15] :

- Détection des défauts en cours de production.
- Tri automatique des matériaux défectueux.
- Déduction des Pertes et des couts.
- Augmentation de la qualité et du rendement.
- Amélioration de la satisfaction client.

I.9.2 Les inconvénients des CND

Les Inconvénients du contrôle non destructifs (CND) sont [16] :

- Détection limitée aux défauts superficiels
- La surface doit être propre.
- Pas d'interruption des parcours optiques entre l'œil et la pièce examinée.
- Plusieurs étapes avec des temps d'attente.
- Détecte seulement les défauts débouchant en surface.
- Interprétation des images demande un niveau d'expertise de l'opérateur.
- Mise en œuvre des dispositifs et procédures de protection du personnel.

I.10.1 Défauts

Un défaut (ou une défectuosité) détecté dans une pièce correspond à la mise en évidence d'une hétérogénéité de matière, d'une variation locale de propriété physique ou chimique préjudiciable à son bon fonctionnement. Cependant, il est courant de classer les défauts en deux grandes catégories en fonction de leur emplacement : les défauts de surface et les défauts internes [17].

a. Défauts interne :

Il faut contrôler tous les défauts et qualités présents dans le volume du coffre, qu'ils soient issus de pièces moulées, forgées, laminées ou soudées. Chaque branche d'activité de la technologie industrielle possède une nomenclature spécifique pour ces défauts. Dans l'industrie des métaux, il peut, par exemple, s'agir de porosités, de soufflures ou d'inclusions. Pour tous les autres cas, il peut s'agir de la présence d'un corps étranger à l'intérieur d'une pièce ou d'un produit. Il est important de souligner que le contrôle visuel est exclu d'office pour ce type de défauts [18].

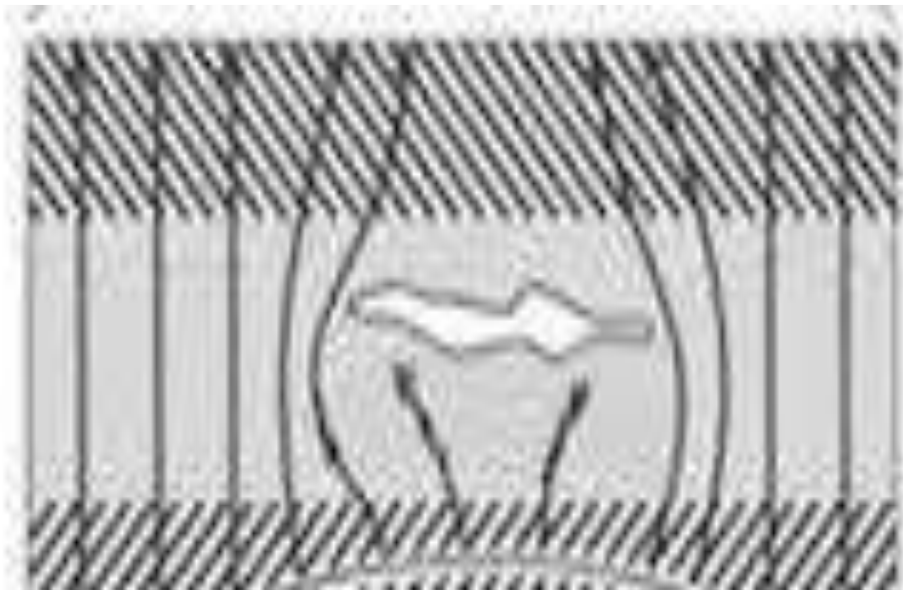


Figure I.11: Défaut interne [18].

b. Défauts de surface (débouchant)

Accessible de l'observateur direct mais toujours visible l'œil nu, ils peuvent se classer en deux catégories distinctes [18] :

Les défauts ponctuels correspondent au niveau le plus nocif sur le plan technologique, car ils peuvent provoquer la rupture de la pièce à long terme, en initiant par exemple des fissures de fatigue. Les méthodes de Contrôle Non Destructif (CND) les plus sensibles sont les mieux adaptées pour ce type de défauts, telles que le ressuage, la magnétoscopie et le courant de Foucault. Les défauts d'aspect, quant à eux, correspondent à une variation de paramètres géométriques ou physiques qui rendent le produit inutilisable, tels que la rugosité, les taches, etc. Pour ce type de défauts, le contrôle visuel est possible, mais on cherche à le remplacer par des Contrôle optiques automatiques.

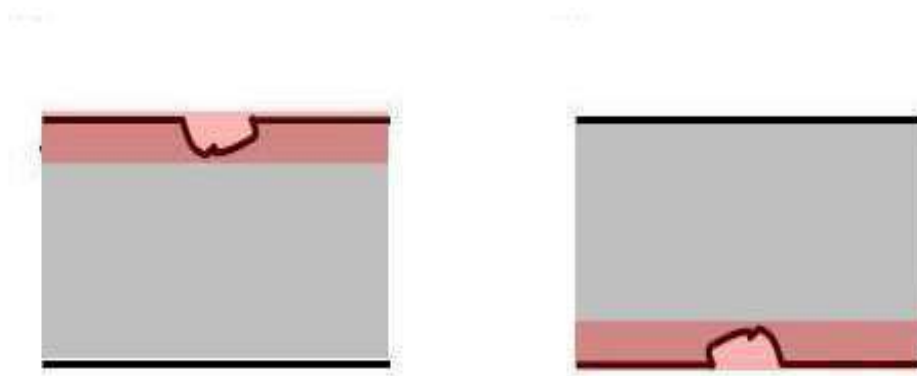


Figure I.12: Défauts de surface [18].

I.10.2 Le contrôle par Ultra-sons

Le contrôle non destructif par ultrasons est un procédé de recherche du manque de matière (défaut) dans un matériau. Il permet de localiser et de dimensionner les discontinuités (défauts) à l'aide d'ondes acoustiques. Le contrôle US consiste à observer les échos produits par un manque de matière lors de la propagation d'une vibration de très haute fréquence et de très courte durée dans le matériau.

La vibration est transmise et reçue par un même capteur appelé transducteur qui comporte un élément piézoélectrique apte à transformer un signal électrique en vibration mécanique et inversement[19].

La fréquence utilisée dans les tests par ultrasons non destructifs est 0.1 MHz et 20 MHz.

Tableau I.6: Domaine d'ultrasons [20].

Les infrasons	La zone audible	Les ultrasons	Les hyper-sons
0 à 16 Hz	16 Hz à 16 kHz	16 kHz à 150 MHz	> à 150 MHz

I.10.3 Définition ultra-sons

Les ultrasons sont des ondes élastiques, tout comme les sons audibles ; ils ne diffèrent de ceux-ci que par leur domaine de fréquence. Si ces ondes ultrasonores sont envoyées perpendiculairement à la surface d'une pièce à faces parallèles, ces ondes vont se réfléchir sur la paroi opposée et revenir vers le cristal qui va transmettre le signal à l'appareil à ultrasons. Un défaut se signale par l'apparition d'un écho intermédiaire et/ou par une atténuation de l'écho de fond [21].

I.10.4 Le principe de l'appareil à ultrasons

Pour décrire sommairement le principe de l'appareil à ultrasons, nous choisissons la méthode par impulsion-écho. Cet appareil comporte un générateur qui envoie des impulsions électriques au palpeur. Au même instant, ce signal est visualisé sur l'écran sous forme de pic : cette déflexion du spot lumineux est appelée "top d'émission". Au niveau du palpeur le signal est instantanément transformé en onde ultrasonore. Ce faisceau pénètre dans la pièce à contrôler. Lorsque le faisceau ultrasonore rencontre la face opposée de la pièce, il y a réflexion sur le miroir que constitue l'interface pièce-air, et les ultrasons reviennent vers le palpeur. Le spot se déplace toujours sur l'horizontale. Lorsque le faisceau ultrasonore provient au palpeur, celui-ci émet un signal électrique qui est à son tour visualisé sur l'écran de l'appareil, par une déflexion de la trace horizontale : c'est l'écho de fond.

L'espace compris entre le top d'émission et l'écho de fond, correspond au temps mis par les ultrasons pour parcourir l'épaisseur du matériau en aller et retour [22].

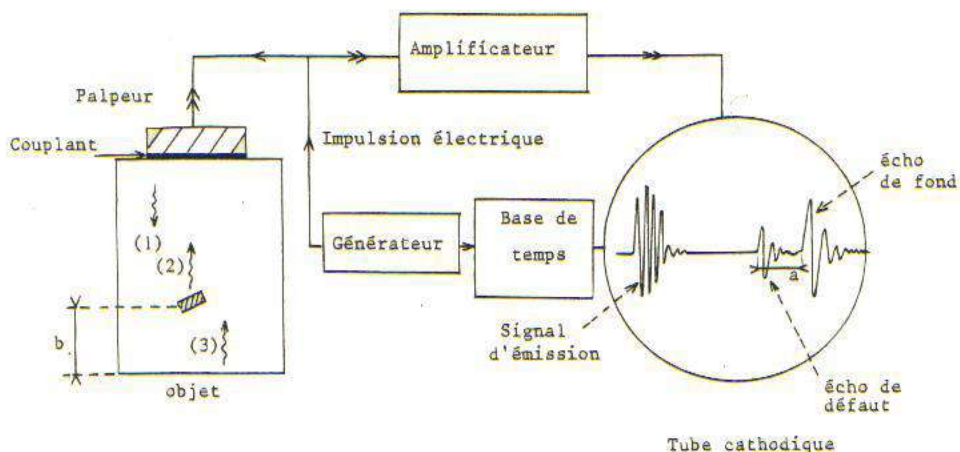


Figure I.13: Schéma représente le principe de l'appareil à ultrason[22].

I.11.1 Les divers types d'ondes ultrasonores

Les trois types principalement utilisés dans le contrôle par ultra-sons[22].

1. Ondes longitudinales ou de compression.
2. Les ondes transversales ou de cisaillement.
3. Les ondes de surface ou de Rayleigh.

a. Ondes longitudinales

Ce Déplacement des particules parallèle à la direction de la propagation [15]:

$$VL = \sqrt{E/\rho(1 - \nu)/(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \tag{I.1}$$

VL : vitesse des ondes longitudinales.

E: module de Young (Pa).

ρ : La masse volumique du matériau contrôlé $kg\ m^3$.

ν : Coefficient de poisson du matériau contrôlé (sans dimension).

b. Ondes transversales

Ce Déplacement des particules perpendiculaire à la direction de propagation et il n'y a pas de modifications de volume[15] :

$$VT = \frac{\sqrt{E}}{\rho} \cdot 2(1 + \nu) \tag{I.2}$$

VT : vitesse des ondes transversales.

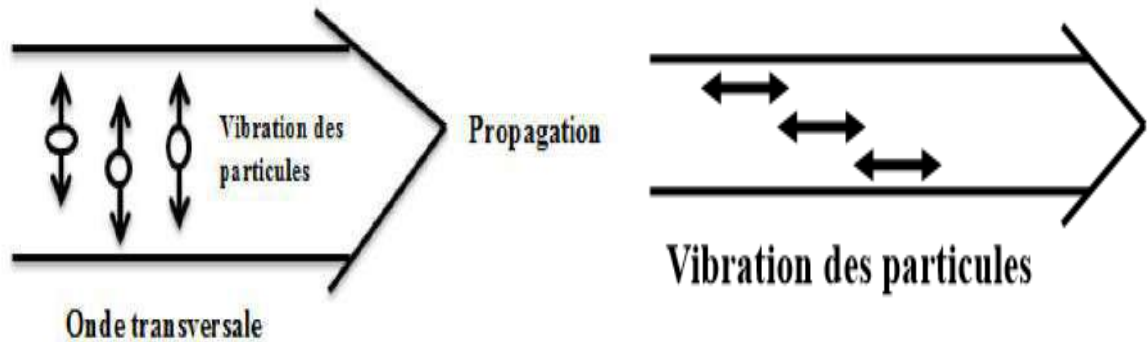


Figure I.14: Propagation des ondes transversales et ondes longitudinales [15].

c. Longueur d'onde :

C'est la distance parcourue par l'onde pendant 1 période [15].

La longueur d'onde ; la célérité (=vitesse de propagation) et la fréquence sont reliées par :

$$\lambda = C \cdot T = \frac{C}{f} \quad (I.3)$$

λ : longueur d'onde en m.

f : fréquence de l'onde, en hertz (Hz).

T : période de l'onde, en seconde (s) et $T = 1/f$

C : célérité de l'onde, en m/ s.

Les vitesses de propagation des ondes longitudinales et transversales dans les milieux les plus usuels sont donnés au tableau I.7.

Tableau I.7: Montre la vitesse de diffusion dans les médias les plus courantes [21].

Matériau	Vitesse a/ Sec	
	Ondes L	Ondes T
Acier doux	5960	3240
Aluminium	6250	3100
Cuivre	4630	2140
Nickel	6040	3010
Acier inox (347)	5750	3100
Air	330	-
Eau	1500	-

I.11.2 Les techniques du contrôle ultra-sons

1. Contrôle par échographie ultrasonore

C'est lorsque l'émission et la réception sont réalisées par le même transducteur, le contrôle est appelé "émission-réception". L'écho provenant de l'obstacle détecté est recueilli sur la même surface d'émission de l'onde. La position des signaux d'écho sur l'écran de l'appareil de contrôle permet de déterminer la distance parcourue par l'onde ultrasonore et par conséquent la position et les dimensions de l'anomalie (profondeur, largeur...) qui est à l'origine de l'écho. Cette caractérisation d'anomalie reflète son importance dans la structure examinée.

La figure ci-dessous montre l'écho de la surface et l'écho de la face intérieure de la pièce. La distance entre les deux échos indique l'épaisseur de la pièce [20].

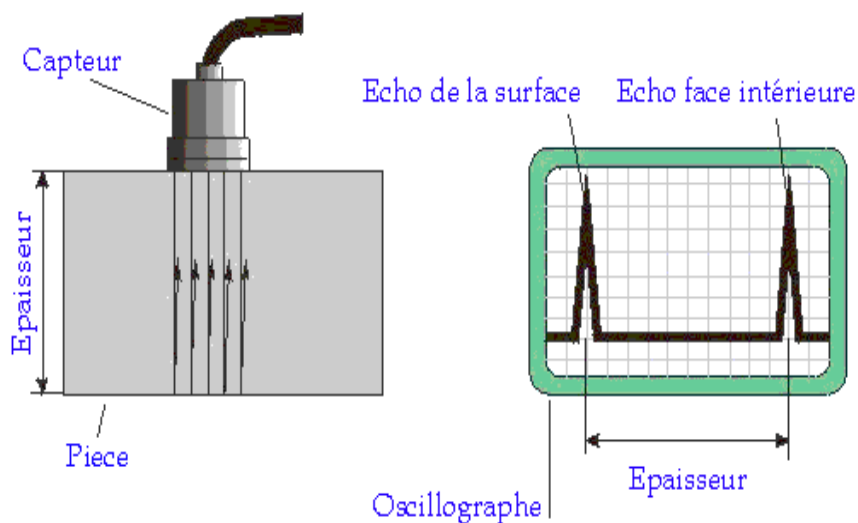


Figure I.15 : L'écho de la surface et l'écho de la face intérieure de la pièce [20].

Si la pièce contient des irrégularités, les ultrasons venant du capteur ne peuvent plus atteindre la face intérieure de la pièce sans être brouillés, et être reflétés. Une anomalie dans la pièce formera une nouvelle pointe sur l'oscillographe. Plus cette anomalie, fissure par exemple, est grande, plus la pointe l'est également. La localisation de la pointe à l'écran indique la profondeur 'S' de l'anomalie au sein du matériau examiné [20].

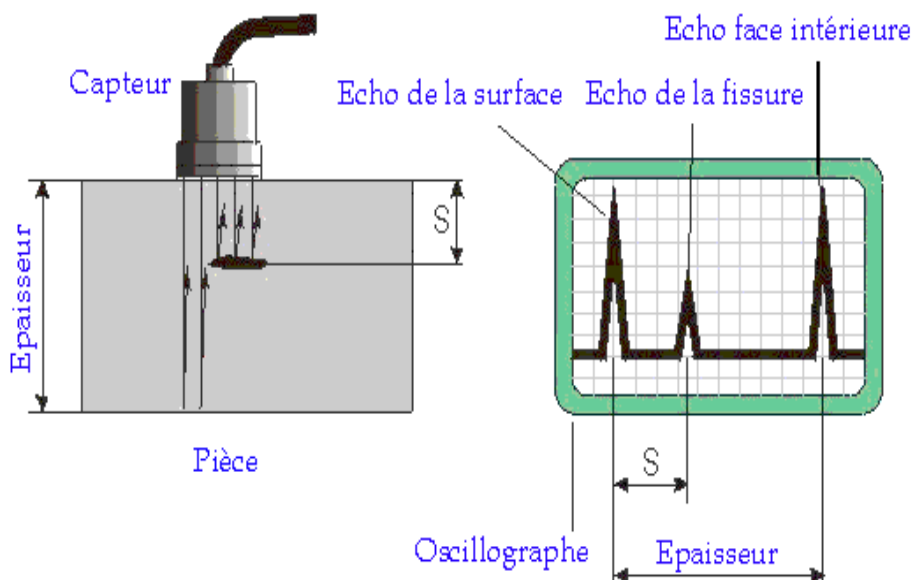
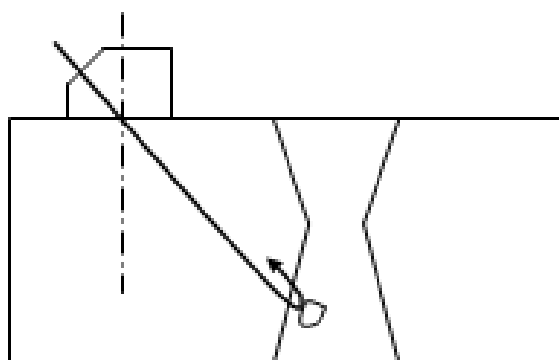


Figure I.16: Un dessin montrant une fissure [20].

Dans le cas d'une onde transversale, la détection du défaut par échographie ultrasonore se fait soit par :

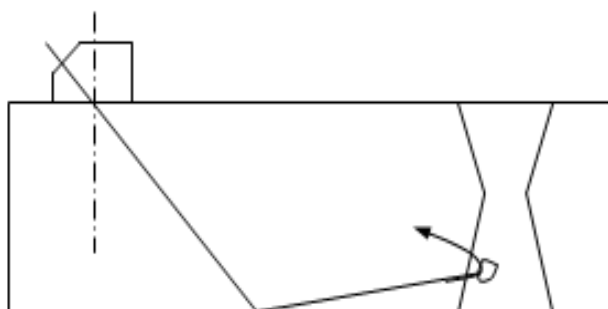
- En ½ bond : par parcours direct (émission - détection du défaut - réception du signal)



Contrôle en 1/2 bond

Figure I.17: Contrôle en 1/2 bond par parcours direct [20].

- En 1 bond : après rebond de l'onde sur le fond de la pièce (émission- réflexion sur le fond - détection du défaut - réception du signal)



Contrôle en 1 bond

Figure I.18 : Contrôle en 1 bond après rebond de l'onde sur le fond de la pièce [20].

2. Contrôle par transmission

C'est lorsque la réception est effectuée par un deuxième capteur autre que le capteur émetteur, on lui donne le nom « d'émission-réception séparée ».

Cette technique est basée sur la transmission d'ondes. La présence d'une anomalie provoque une diminution de l'énergie ultrasonore transmise. Elle est très peu utilisée à cause du risque d'atténuation du signal à la présence du défaut, ou aussi à cause de rupture de couplage ou d'un mauvais alignement entre l'émetteur et le récepteur. Dans ce cas, l'écho de fond ou de la face inférieure n'est pas visible sur l'écran de l'oscillographe [20].

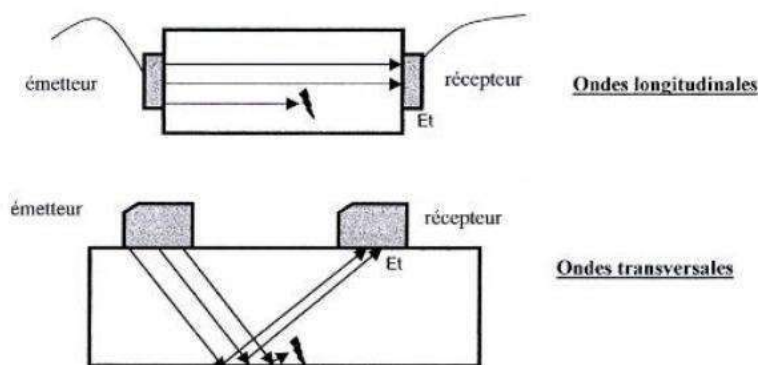


Figure I.19 : Ondes longitudinales et transversales[20].

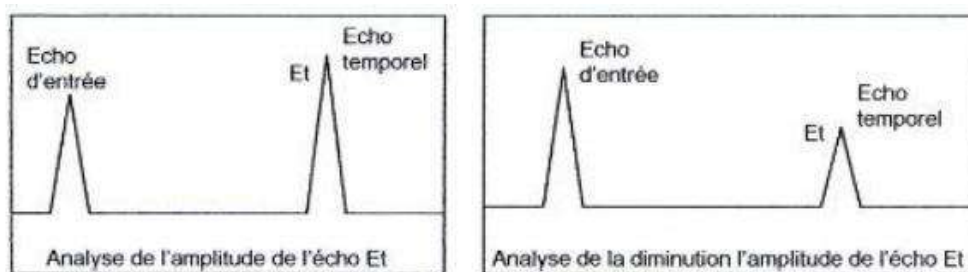


Figure I.20 : Analyse de l'amplitude de l'écho [20].

I.11.3 Les transducteurs ultrasonores

La génération des ondes ultrasonores est réalisée à travers des transducteurs dont le rôle principal est de convertir [20]:

- de l'énergie électrique en énergie mécanique / lors de l'émission
- de l'énergie mécanique en énergie électrique / lors de la réception

C'est l'effet piézo-électrique : A une fréquence déterminée, l'émetteur délivre une brève impulsion électrique de très courte durée à l'élément piézo-électrique par la décharge d'un condensateur. Le transducteur entre en résonance et génère à sa fréquence nominale une oscillation amortie qui pénètre alors dans le matériau. Au fur et à mesure que les échos reviennent au transducteur, ils se visualisent sur l'écran par des déviations verticales d'autant plus importantes que les réflecteurs (défauts) situés dans le matériau.

Les formes et les dimensions des transducteurs (ou palpeurs) peuvent être très différentes suivant leurs utilisations. On cite à titre d'exemple :

- les palpeurs droits



Figure I.21: Les palpeurs droits [20].

- les palpeurs d'angles



Figure I.22: Les palpeurs d'angles [20].

I.12. Les avantages et inconvénients du contrôle par ultrasons

Les avantages et inconvénients du contrôle par ultrasons sont [19] :

a. avantages

- Il est rapide
- Les résultats sont immédiats.
- Il est utilisable sur la plus part des matériaux.
- Il n'est pas nécessaire d'avoir accès aux deux côtés de la pièce.

b. Inconvénients

- Un produit de couplage est exigé.
- Les défauts parallèles aux ondes ultrasonores sont difficiles à déceler.
- L'opérateur doit suivre une formation pour interpréter l'affichage de manière précise.
- Le matériel doit être étalonné de façon régulière pour chaque épaisseur et chaque type de matériau.

I.13. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons rappelé brièvement la définition et le but du contrôle non destructif (CND), les différents types de défauts détectés en CND, le principe de détection d'un éventuel Défaut et les bases physiques qui gouvernent les procédés de contrôle. Nous avons ensuite décrit

Les principales techniques de contrôle non destructif les plus utilisées dans le Secteur industriel à savoir : l'examen visuel, le ressuage, ultrasonores, la radiographie, le contrôle par magnétoscopie, la thermographie. Pour technique CND d'inspection avons évoqué les avantages et les inconvénients.

Enfin, nous avons présenté cette méthode choisie dans la détection des défauts internes des ondes ultrasonores dans les voies du Tramway de Ouargla.

Chapitre II

Techniques d'inspection par ultrasons des rails

II.1 Introduction

L'ultrason est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports fluides, solides, gazeux ou liquides. La gamme de fréquences des ultrasons se situe entre 20000 et 10 000000 Hertz, trop élevées pour être perçues par l'oreille humaine. Le contrôle par ultrason est appliqué aux fabrications, aux demi-produits et éventuellement aux produits finis, en petite ou grande série, il est capable de mettre en évidence les défauts en préservant l'intégrité des produits contrôlés [23].

Ce chapitre abordera la présentation de la société SETRAM et de ses objectifs, ainsi que notre stage de certaines de ses agences à Ouargla. Nous explorerons également la méthode de détection des défauts internes de la voie ferrée par ultrasons.

II.2.L'appareil ultrasonore

Pour effectuer une inspection par ultrasons des rails, des capteurs à ultrasons peuvent être montés sur un chariot qui se déplace le long des rails. Les capteurs émettent des ondes sonores à travers le rail, et les ondes réfléchies sont enregistrées et analysées pour détecter les anomalies internes.

D'une façon très simple on dira que l'appareil ultrasonore possède trois principales fonctions :

A- L'émission

B- La réception

C- La visualisation

La figure suivante représente l'appareil à ultrason de marque (JITAI9101), Utilisé durant notre stage pour suivi le rail du tramway d'Ouargla.



FigureII.1:Appareil à ultrasons utilisé.

II.2.1Le traducteur

On appelle traducteur ou palpeur l'outil qui permet d'émettre et de recevoir les ondes ultrasonores. Il est composé de 5 parties principales :

L'élément actif ou transducteur (élément piézoélectrique), l'amortisseur, les connections électriques, la plaque de protection et le boîtier.

Il existe deux types de traducteur :



Figure II.2: *Palpeur longitudinale et Palpeur transversal.*

II.2.2Le câble coaxial

Ce câble de plus de 3 mètres de long remplit deux fonctions :

- Il transmet un signal de fréquence plus élevée.
- Moins de perte Protection du signal contre les interférences externes.



Figure II.3: câble de connexion.

II.3. Les défauts dans le champignon du rail

Parmi les défauts rencontrés dans le rail en voie, hormis les défauts d'usure du profil, ceux causés par la fatigue de contact roue-rail sont les plus fréquents. Ils peuvent, s'ils ne sont pas détectés à temps, proliférer et conduire à des ruptures de rail et par conséquent, constituent un risque d'accident potentiel pour le transport ferroviaire. Ces défauts peuvent être classés en trois groupes selon leur origine : Fissures causées par des défauts de fabrication du rail (ex : les fissures verticales, qui sont dues à des problèmes métallurgiques pendant la fabrication du rail).

Les défauts dus à la manipulation et à l'utilisation inappropriée (ex : l'écaillage de la surface de roulement dû aux brûlures de la roue). Les défauts de fatigue par contact de roulement (exemple : les squats et les Head-checks. De nos jours, avec les avancées technologiques dans l'industrie métallurgique mais aussi du fait des avancées de la recherche, les propriétés physicochimiques du rail sont mieux maîtrisées, de même que les procédés de fabrication [24].

II.3.1 Les fissures verticales

Les fissures verticales (Vertical Split Head) sont des défauts principalement dus à des problèmes métallurgiques pendant la fabrication des rails. Elles occasionnent une fissuration du rail en interne et peuvent se propager sur une longueur pouvant aller jusqu'à 120 mètres dans l'axe longitudinal du rail, entraînant la rupture du champignon sur une longueur conséquente [25].

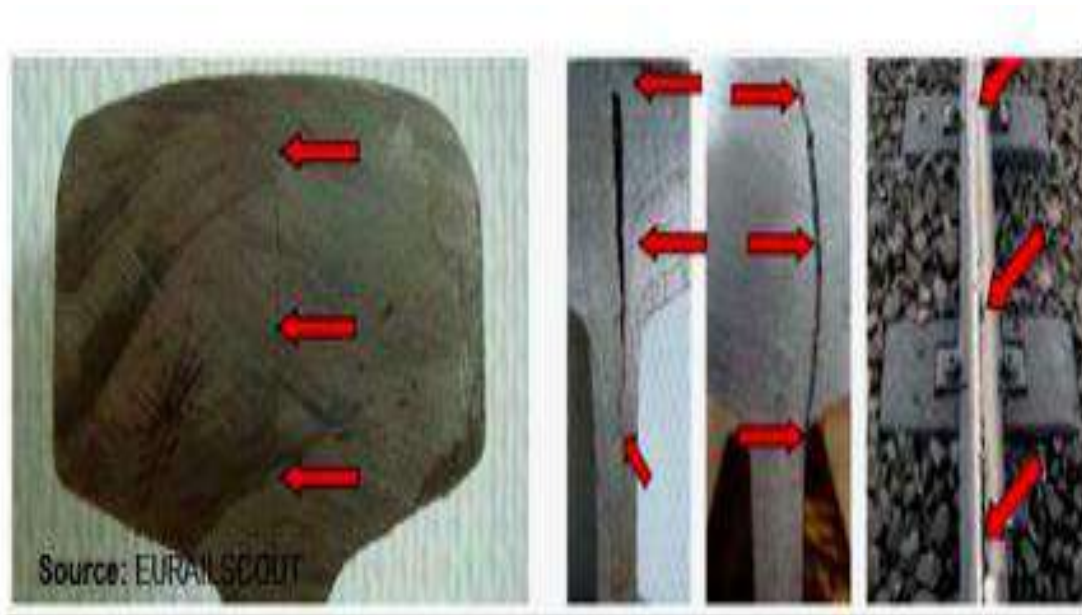


Figure II.4 : Fissures verticales [25]

II.3.2 Les squats

Les squats sont des fissures qui apparaissent et se propagent dans le champignon. Au premier stade, la fissuration apparaît sur une profondeur jusqu'à environ 4 mm, formant un angle ouvert de (10° à 30°) par rapport à la surface extérieure du rail. Ensuite, en fonction de la distribution des contraintes, deux directions de propagations sont possibles: Une propagation vers l'extérieur provoquant une perte de matière ou un écrasement, ce qui laisse une cavité à la surface (Figure. II. 5). Une propagation vers l'intérieur du champignon, dans le sens vertical, ce qui provoque la rupture du rail dans de nombreux cas (Figure. II.6) [26].

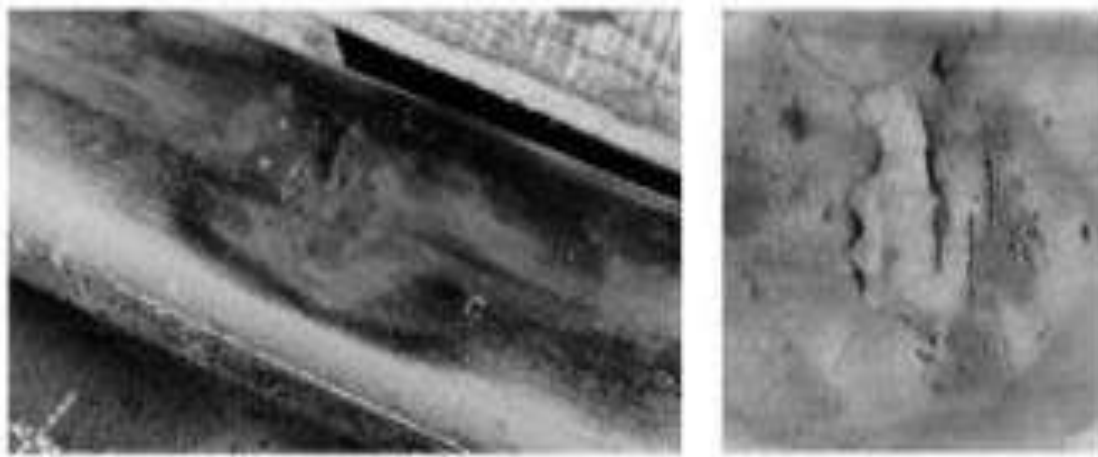


Figure II.5: Squat : écrasement surfacique [26]

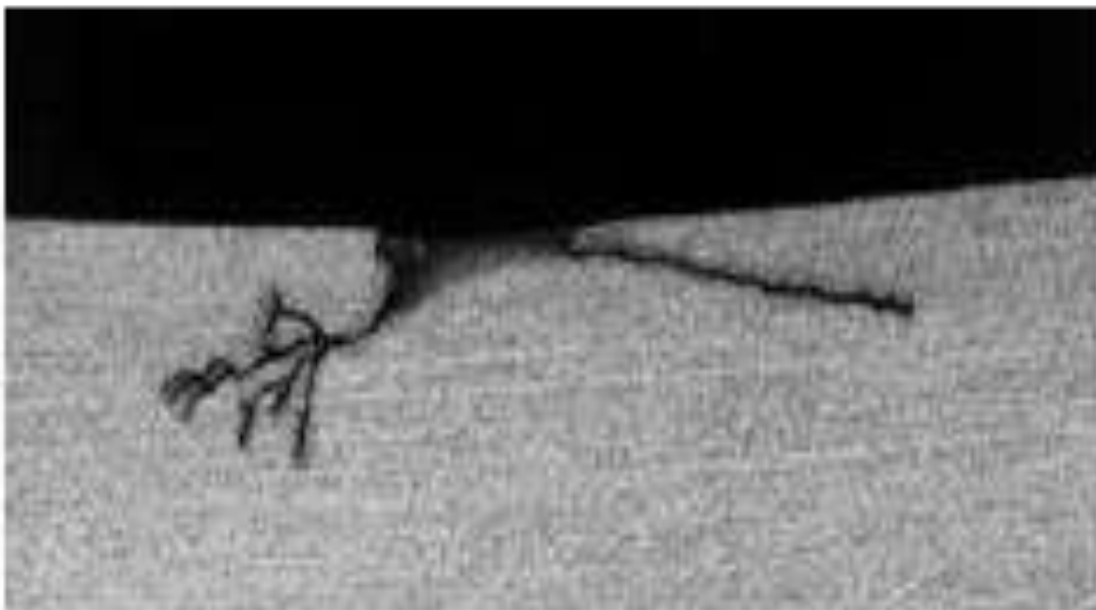


Figure II.6: Squat : propagation vers l'intérieure [26].

Les squats se traduisent par l'écrasement de la bande de roulement. Ils provoquent de forts impacts roue-rail lorsqu'ils sont en contact, pouvant causer l'usure du rail et celui de la roue, mais aussi une nuisance sonore élevée quand le train roule à grande vitesse. Les vibrations résultantes de la structure ferroviaire peuvent entraîner le desserrement des écrous sur le train et/ou sur les fixations du rail.

II.3.3 Les Head-checks

Ce sont des fissures ouvertes à la surface du rail présentant une grande densité au mètre, principalement sur la face de roulement du rail extérieur des parties en courbe. En fonction des conditions climatiques locales, de la qualité et du profil du rail, des fissures parallèles apparaissent espacées de 1 à 7 mm environ les unes des autres, se propageant à un angle de 25° vers l'intérieur du champignon pour reprendre ensuite, dans bien des cas, un tracé parallèle à la surface de roulement ou s'orientant vers le bas. Ces fissures se réunissent bien souvent, provoquant la rupture du matériau sur la face de roulement ou des ruptures multiples du rail sur plusieurs mètres [26].

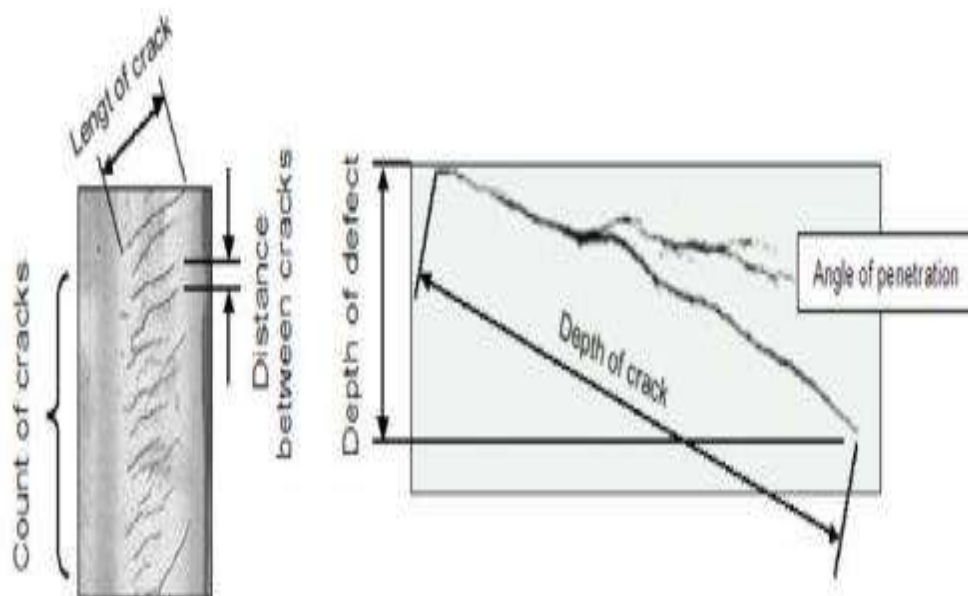


Figure II.7: head-check [26]

II.4. Les différentes techniques de contrôles ultrasonores

II.4.1. Contrôle par contact

Le traducteur est directement placé sur la pièce à contrôler. La liaison est assurée par un film de couplage qui est généralement une graisse, une huile ou des gels spéciaux. Cette technique est surtout employée lors de contrôle manuel c.-à-d. lorsque le déplacement est assuré par un opérateur. [27]

II.4.2. Contrôle en immersion

Le traducteur est situé à une certaine distance de la pièce, le couplage est assuré par un liquide, habituellement de Léau additionnée d'un mouillant. Cette technique assurée la mobilité sur 3 axes à ces palpeurs, et aussi la facilité d'utiliser des palpeurs focalisés.[27]

II.4.3. Contrôle automatique des grandes structures par Ultrasons

C'est un système de chantier entièrement automatisé permettant d'analyser des surfaces importantes horizontales ou verticales sur des structures métalliques. Il est constitué d'un robot roulant magnétique et d'une instrumentation de contrôle ultrasonore informatisée. La mécanique de support de traducteur est conçue pour franchir des soudures ou des obstacles de surface. Ce robot est configurable pour des mesures de profils B-Scan (mesure d'épaisseur en fonction d'une longueur parcourue) ou pour des cartographies C-Scan (mesures de surfaces de corrosion ou détection. localisation. caractérisation de défauts. fissures...).

Cet ensemble est principalement dédié aux analyses et expertises par Ultrasons pour des tubes de grand diamètre (en interne ou externe), des structures planes, des fonds ou toits de réservoir, des viroles et des parois de cuve.[27]

II.4.4. La technique TOFD

TOFD est l'acronyme de "Time-of-Flight Diffraction", c.-à-d. Mesure du temps de vol de l'onde diffractée. La méthode TOFD exploite les phénomènes de diffraction générés par les extrémités des défauts.

Méthode de dimensionnement de défauts basée sur la mesure du temps de vol et non l'amplitude avec deux transducteurs utilisés en tandem, et pitch and catch.

Le contrôle s'effectue au moyen de deux transducteurs ultrasonores mis en opposition, l'un fonctionnant en émission, l'autre en réception. Les transducteurs sont placés à égale distance de part et d'autre de la soudure à examiner, de façon à couvrir toute l'épaisseur de la pièce à contrôler. L'image obtenue est une représentation transversale de la soudure.[27]

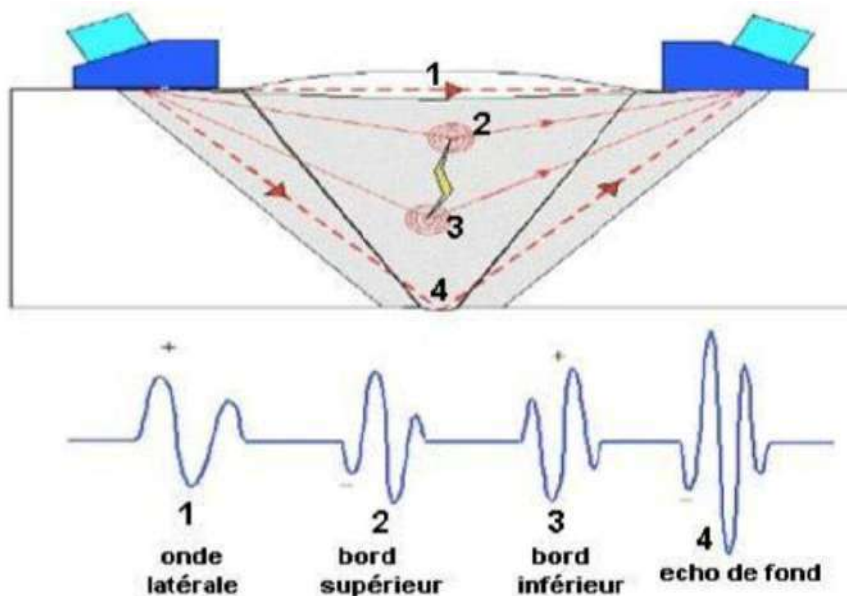


Figure. II.8: Principe de la technique T.O.F.D[27].

II.5. Méthodes de mesure par ultrasons

La méthode de test par ultrasons est le contrôle non destructif le plus important pour identifier les défauts internes des rails (p. ex. les fissures transversales).

Les contrôles sont effectués à l'aide d'un chariot à main, comme substitut économique aux trains de mesure. [28]

Les défauts sur les rails et leurs positions sont documentés précisément sur le rapport d'essai grâce à la détection précoce de tels défauts, les ruptures des rails sont évitées puisque des mesures adaptées peuvent être entreprises.



Figure II.9 : Technique de test par ultrasons [28].

II.6. Conclusion

Après avoir identifié les défauts superficiels et internes des voies ferrées, il est impératif d'assurer la sécurité et la fiabilité des systèmes techniques fonctionnant sous charges dynamiques. Dans ce chapitre, nous avons présenté et détaillé des méthodes spécifiques de détection des défauts à l'aide d'appareils à ultrasons. Cette technique s'avère efficace pour repérer les défauts potentiels à l'intérieur des voies ferrées, sans les endommager.

Chapitre III

Analyse et interprétation

Des résultats

III.1. Introduction

Les chemins de fer jouent un rôle important dans les systèmes de transport modernes. Ils sont soumis à de grandes limitations, notamment dans certaines conditions environnementales, comme notre région désertique d'Ouargla. Ces contraintes peuvent entraîner des défauts internes mineurs qui, au fil du temps, se transforment en problèmes plus graves qui apparaissent en surface sous la forme de déformations ondulées des rails. Les défauts internes, tels que les fissures, les inclusions et les faiblesses, peuvent affecter la résistance du rail, tandis que les défauts de surface, tels que l'usure et la corrosion, réduisent la durée de vie du rail. Ces défauts peuvent avoir de graves conséquences, notamment des accidents de train, des retards de service et des coûts d'entretien et de remplacement des équipements plus élevés. Il est donc nécessaire de comprendre les causes de ces défauts et de mettre en place des méthodes efficaces de détection précoce et de prévention afin d'assurer la sécurité et la fiabilité du réseau ferroviaire.

III.2. Tramway

En termes de technologie et d'exploitation, le tramway moderne est une version plus récente du tramway conventionnel qui a monopolisé les transports publics urbains et tramway moderne est un train électrique à roues en acier, circulant presque exclusivement à niveau le long de routes urbaines ou suburbaines. Soit il partage la même infrastructure que le reste du trafic routier.

Il dessert généralement des distances de l'ordre de 5 à 20 km et peut être intégré dans des rayons d'alignement horizontal aussi étroits que 20 à 25 m. Il se caractérise par des vitesses commerciales de l'ordre de 15 à 25 km/h et peut transporter environ 15 000 passagers/h/ [29].



Figure III.1 : Tramway d'Ouargla.

III.3. Composants de la voie

III.3.1. Le rail

Le rail est le premier élément en contact entre le véhicule et la voie. Il se charge de transmettre et de répartir les forces du véhicule sur le système en dessous. Il y a différents types de rails avec différentes caractéristiques [30].

A. Rail Vignole

Traditionnellement utilisé sur les voies de chemin de fer, le rail Vignole peut être utilisé sur les sections de voie tramway ne nécessitant pas d'être traversées par d'autres circulations. En principe, sa géométrie ne lui permet pas d'être « noyé » dans le béton de la plateforme [31].

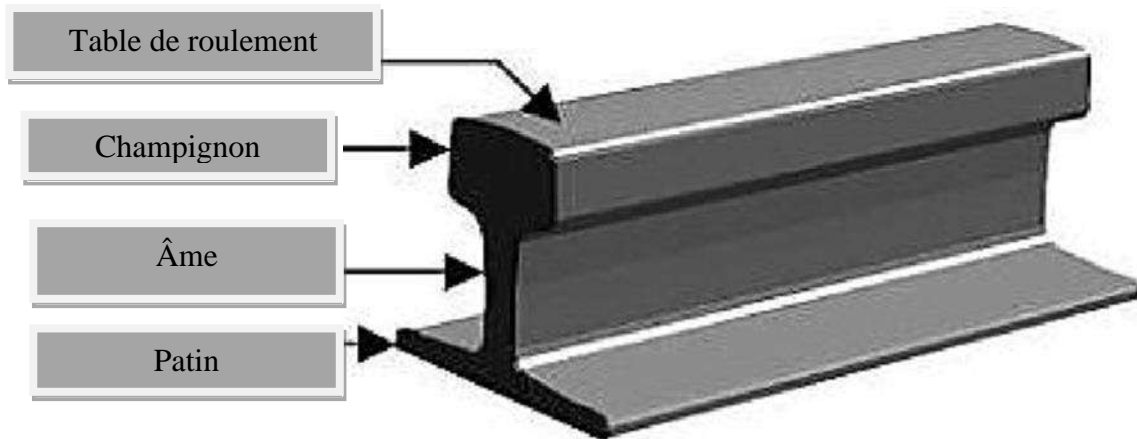


Figure III.2 : Coupe d'un rail type Vignole [32].

B. Rail gorge

Le rail à gorge est le rail privilégié du mode tramway. En effet, sa géométrie permet de le noyer dans la plateforme, ce qui rend la voie traversable par les piétons, les voitures et autres modes routiers. Son coût au mètre linéaire est cependant plus élevé que le rail Vignole [31].



Figure III.3 : Coupe d'un rail à gorge [32].

III.3.2 Le taquet d'arrêt

La fonction du taquet d'arrêt est de stopper une rame en dérive se déplaçant au pas. Sous l'effet du passage de la première roue, le taquet se lève et bloque alors la roue suivante [26].



Figure III.4 : Taquet d'arrêt d'un tramway [31].

III.4. Ligne du tramway d'Ouargla

La figure suivante représente la ligne du tramway de Ouargla avec les principales gares et stations.



Figure III.5 : la ligne du tramway d'Ouargla et ses principales stations.

III.4.1 Des informations général

Ouargla est la première ville du sud à accueillir le tramway Il est entré en service le 20 mars 2018 et la ville a pris un nouveau visage après les aménagements urbains qui ont été mis en œuvre dans le cadre de la réalisation de ce projet.

C'est un moyen de transport écologique et moderne qui garantit ponctualité, sécurité et confort aux usagers.

III.4.2 Présentation de la ligne du tramway d'Ouargla

La ligne du tramway de Ouargla S'étend sur une distance de 9,6 km, compte 16 stations et comprend aussi : [33]

- Cinq (05) sous stations électriques.
- Un(01) Poste de Haute Tension.
- Dix-neuf (19) carrefours.
- Parc relais.
- Pôle d'échange.
- Agences commerciales.
- Sciez(16) Guichets de vente de tickets.
- Un(01) Viaduc.
- Vitesse commerciale : 20.6 km/h.
- Fréquence de passage entre deux rames : 4 minutes en heure de pointe.

L'exploitation du Tramway de Ouargla se fait avec 23 rames, desservant plusieurs zones urbaines et périurbaines de l'agglomération d'Ouargla, ainsi que des infrastructures socio-économiques notamment le boulevard principal d'Ouargla, la zone des équipements publics, Les trois pôles universitaires et la nouvelle gare routière.

III.4.3 Caractéristiques de la rame

Qui est le prochain : [33]

- Longueur de la rame : 45 m
- Largeur de la rame : 2,5 m
- Capacité de la rame : 414 voyageurs par rame

- Capacité de transport en heure de pointe : 5000 voyageurs/heure/sens

III.5. stage au sein de la société SETRAM

Afin de préparer notre note pour la sortie de la deuxième année de Master, nous avons effectué une formation de quinze jours à la SETRAM, Ouargla, pour étudier une des problématiques qu'elle rencontre dans la ligne ferroviaire.

Notre formation dans une antenne de la société SETRAM, plus précisément à la gare de Tramway de Ouargla, a pour objectif de suivre la ligne du tramway d'Ouargla afin de détecter les défauts interne en utilisant la technique de l'analyse par ultrason

III.6. Présentation du rail

Le rail est un élément crucial du système ferroviaire, servant de support et de guide de roulement pour les véhicules. Il est fabriqué à partir de billettes en acier laminé, avec des alliages au manganèse représentant la principale nuance d'acier utilisée. Les rails doivent avoir des caractéristiques mécaniques et physiques robustes pour résister aux dégradations et aux usures causées par le trafic intense et les conditions environnementales. Les dimensions, le profil et le poids du rail sont codifiés par l'Union Internationale du chemin de fer pour garantir une compatibilité et une sécurité optimales sur l'ensemble du réseau ferroviaire

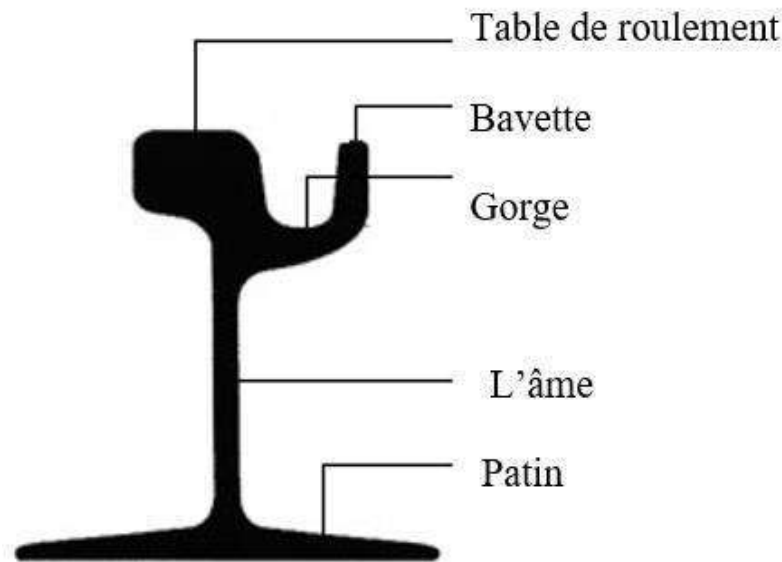


Figure III.6: Rail à gorge du tramway d'Ouargla [34].

III.7. Caractéristiques des rails du tramway d'Ouargla

Ce tableau représente les caractéristiques du rail type gorge du tramway d'Ouargla :

Tableau III.1 : Caractéristiques des rails du tramway d'Ouargla [34].

Modèle	54G2
Poids d'un rail de 1 m	54.55 (kg)
Largeur de tête	55.91 (mm)
Largeur de gorge	41.55 (mm)
Hauteur	152.50 (mm)
Largeur pied	141.50 (mm)
Epaisseur de bande	13 (mm)
Largeur de tête totale	116.60 (mm)

III.8. Etude expérimentale

L'idée présentée ici concerne la détection des défauts ou des éléments faibles dans les voies ferrées de la ligne de tramway d'Ouargla. Cette détection est réalisée à l'aide de la méthode non destructive de mesure par ultrasons qui utilise le temps de parcours des ondes dans le tronçon. En connaissant la vitesse de propagation des ondes dans le matériau, il est possible de détecter ces défauts ou éléments faibles.

La ligne de tramway d'Ouargla est longue de 9,6 kilomètres. Dans cette étude, notre attention est concentrée sur les points de soudure. Nous avons prélevé un échantillon de ces points de soudure, où la position de soudures est marquée par une bande rouge, comme le montre la figure III.7 afin de faciliter le processus de mesure.

Ce processus de détection se poursuit le long de toute la ligne, qui compte environ 44 points, comme illustré à la figure III.8. Cette méthode permet une localisation précise et rapide des sites défectueux ou des pièces vulnérables, ce qui aide les équipes de maintenance à planifier les interventions de maintenance préventive et à éviter les pannes.



Figure III.7 : Joint de soudeur du rail d'Ouargla

La figure III.8 représente un schéma synoptique des stations, chaque station comporte 4 joints de soudeur qui ont été identifié au niveau de la ligne de tramway Ouargla pour inspecter et analyser les joints de soudeur par ultrasons

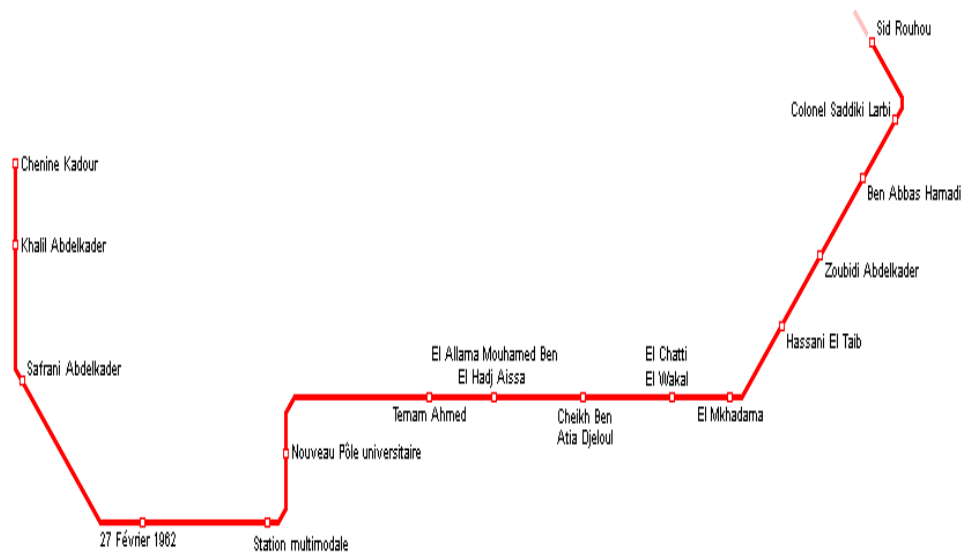


Figure III.8: Stations dans la ligne du Tramway d'Ouargla [35]

III.9. Inspection des défauts internes par ultrason

Le contrôle par ultrasons a pour principe d'analyser, à l'aide des instruments de mesure appropriés, les modifications apportées à la progression des ondes ultrasonores. Un palpeur est placé sur le point de mesure (rail) du tramway et émet une onde ultrasonore brève qui se propage dans le matériau de ce dernier. La propagation de cette onde est perturbée au niveau des

obstacles présents (défauts, inclusion, hétérogénéité, etc....). Les signaux reçus sont visualisés sur un petit écran grâce à un oscillographe.

La figure III.9 montre l'appareil "émission-réception" utilisé. L'écho provenant de l'obstacle détecté est recueilli sur la même surface d'émission de l'onde. La position des signaux d'écho sur l'écran de l'appareil de contrôle permet de déterminer la distance parcourue par l'onde ultrasonore et par conséquent la position et les dimensions de l'anomalie (profondeur, largeur...) qui est à l'origine de l'écho. Cette caractérisation d'anomalie reflète son importance dans la structure examinée.



Figure III.9 : Détecteur des défauts internes type de JITAI9101.

Pour l'étalonnage, les utilisateurs doivent régler l'extension et la porte manuellement, il suffit de trouver la hauteur des échos et d'appuyer sur le "AUTO-GUN" de la machine à ultrasons.

III.10. Méthode de mesure

Pour inspecter les rails au niveau des joints de soudure, une fréquence d'ultrasons de 200Hz a été utilisée.

Calibration de l'appareil et de teste le palpeur se déroule sur la surface du rail. Pour la Commodité de l'étalonnage des utilisateurs du zéro du palpeur et de la vitesse du matériau, la Fonction d'étalonnage est intégrée à la machine. Grâce à cette fonction, les utilisateurs peuvent terminer l'étalonnage du palpeur droit ou angle. La fonction se trouve dans le menu « AUTO

CALIBRATE » Dans l'étalonnage, les utilisateurs n'ont pas besoin d'ajuster l'intervalle et la porte manuellement, il suffit de trouver les échos de hauteur et d'appuyer sur « ENTRE »

III.11. Les étapes à suivre pour détecter le défaut du rail

Le principe d'inspection par ultrasons du rail est une technique couramment utilisée pour détecter les défauts internes dans les rails de chemin de fer. Voici les étapes principales du processus :

- Préparation de l'équipement : Un système d'inspection par ultrasons est mis en place, comprenant généralement des capteurs ultrasoniques, des dispositifs de couplage et un système de contrôle.
- Couplage : Un gel ou un liquide de couplage est appliqué sur la surface du rail pour assurer un bon contact entre les capteurs ultrasoniques et le rail. Cela permet de transmettre efficacement les ondes ultrasonores dans le matériau.
- Émission des ondes ultrasonores : Les capteurs ultrasoniques émettent des ondes ultrasonores dans le rail. Ces ondes se propagent à travers le matériau et rencontrent différents types de discontinuités ou de défauts, tels que des fissures, des défauts de soudure ou des zones de corrosion.
- Réception des ondes réfléchies : Les ondes ultrasonores réfléchies par les discontinuités ou les défauts du rail sont détectées par les capteurs. Ces signaux sont ensuite convertis en données électriques et transmis au système de contrôle pour analyse.
- Analyse des signaux : Le système de contrôle analyse les signaux reçus et les compare à des critères prédéfinis pour déterminer la présence, la localisation et la gravité des défauts. Des techniques avancées de traitement du signal peuvent être utilisées pour améliorer la précision de la détection et l'interprétation des résultats.

III.12. Résultats de mesure

Le tableau III.2 représente les résultats d'inspections de joints de soudure soit dans la table de roulement ou dans l'âme du rail à partir de la couche extérieure de la surface du rail.

Tableau III.2: Résultats d'inspection du rail par ultrason.

Point de soudure de rail	Dans la table de roulement (mm)	Dans l'âme du rail (mm)
Point 01	19.3	74.0
Point 02	40	70
Point 03	40	25.2
Point 04	36.6	74.7
Point 05	18.3	44.1
Point 06	39	70.1

Point 07	51.5	94.2
Point 08	51.6	114.8
Point 09	35.1	78.1
Point 10	35	77.8
Point 11	51.1	113.6
Point 12	34.2	77.2
Point 13	34.9	77.5
Point 14	42.1	93.6
Point 15	34.8	77.3
Point 16	35.1	77.9
Point 17	16.9	35.5
Point 18	34.9	77.6
Point 19	17.4	38.6
Point 20	11.5	25.6
Point 21	18.1	40.2
Point 22	17.7	39.4
Point 23	11.3	25
Point 24	18.3	40.7
Point 25	35.5	79
Point 26	34.7	77.1
Point 27	34.1	75.8
Point 28	17.1	38.1
Point 29	31.9	70.9
Point 30	35.2	78.3
Point 31	53.0	117.9
Point 32	36.3	80.6
Point 33	29.9	66.4
Point 34	17.0	37.7
Point 35	22.6	50.2
Point 36	31.2	69.3
Point 37	42.4	94.3
Point38	35.0	77.8
Point39	42.8	95.1
Point40	35.1	77.9
Point41	35.2	78.3
Point42	27.2	60.4
Point43	35.3	78.3
Point44	31.0	68.9

Les valeurs de mesure par ultrason des joints de soudures de la ligne du tramway de Ouargla présentées dans le tableau III.2, nous donnent une idée de la présence de défauts, tels que les fissures, les inclusions, les bulles d'air, etc. soit dans la table de roulement ou dans l'amé du rail.

Par exemple, en analysant les signaux ultrasonores réfléchis ou réfractés, les détecteurs de défauts à ultrasons internes peuvent fournir des informations sur la présence de ces défauts. Ces informations sont essentielles pour permettre aux opérateurs d'évaluer l'étendue du défaut et de prendre les décisions appropriées concernant les mesures correctives nécessaires

La figure III. 10 illustre valeur de référence table de roulement (A) qui est environ de (65.5 mm) et dans l'âme du rail (B) qui est de (152.5mm). Ces valeurs représentent des valeurs de référence.

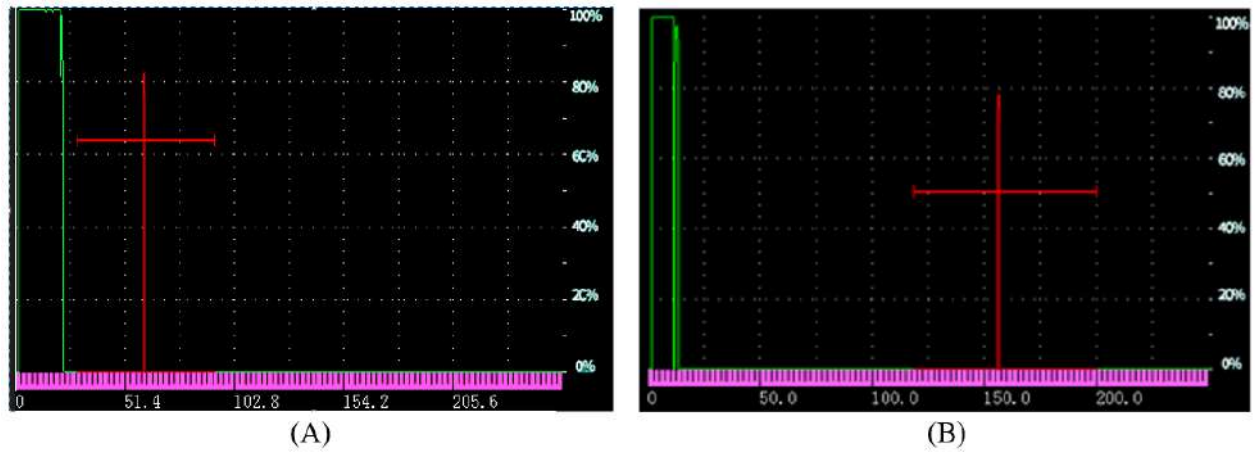


Figure III.10 : Valeurs de référence : (A) table de roulement, (B) l'âme du rail.

Les figures III. 11 et III.12 montrent différentes distance de localisation de défauts internes dans la surface du rail et dans l'âme du rail respectivement.

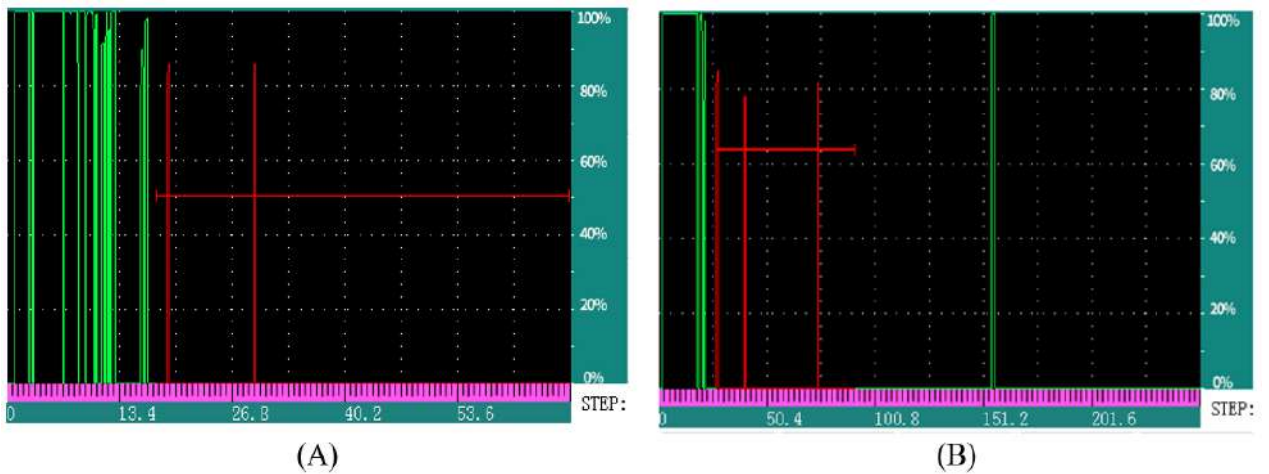


Figure III.11 : Mesure de distances défauts internes pour point 01 : (A) dans la table de roulement, (B) dans l'âme du rail.

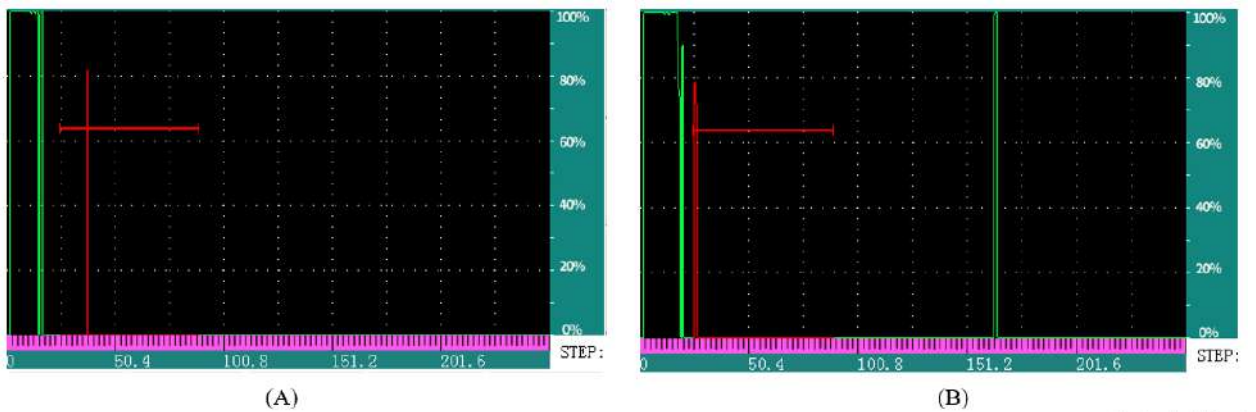


Figure III.12 : Mesure la distance des défauts internes pour point 03 (A) table de roulement, (B) l'amé du rail.

- **Point 01** : Les défauts sont illustrés dans la figure III.11, où l'on peut observer leur présence à une distance de 19,3 mm dans la table de roulement et à 74 mm dans la surface de l'âme.
- **Point 03** : La figure III. 12 montre la présence de défauts dans la table de roulement et sur la surface de l'âme. avec une distance respective de 40 mm et de 25.2 mm

III.13. Conclusion

L'inspection par ultrasons est une méthode non destructive largement utilisée dans l'industrie ferroviaire pour assurer la sécurité et la fiabilité des rails en détectant les défauts internes qui pourraient compromettre leur intégrité structurale.

D'après les mesures, il est important de noter que les vides peuvent être confondus avec d'autres types de défauts, tels que les fissures ou les inclusions, en fonction de la fréquence et de l'amplitude des ondes ultrasonores utilisées. Par conséquent, l'interprétation des résultats des mesures ultrasonores nécessite une expertise et une expérience significatives.

Conclusion

générale

Conclusion générale

L'inspection par ultrasons est une méthode non destructive largement adoptée dans secteur ferroviaire pour assurer la sécurité et la fiabilité des rails en détectant les défauts internes susceptibles de compromettre leur intégrité structurale.

À cet effet, nous avons effectué un stage pratique au centre de maintenance de SETRAM de Ouargla afin de mieux appréhender les différentes structures de ce centre et d'inspecter la ligne du tramway de Ouargla d'une longueur d'environ de 10 Km par la méthode d'ultrason.

Nous avons effectués un nombre de 44 inspections au niveau des joints de soudure, dans la table de roulement et dans l'âme de rail de tramway d'Ouargla.

Cependant, il convient de noter, à partir des mesures effectuées, que les vides peuvent être confondus avec d'autres types de défauts, tels que les fissures ou les inclusions, en fonction de la fréquence et de l'amplitude des ondes ultrasonores utilisées. Par conséquent, l'interprétation des résultats des mesures ultrasonores requiert une expertise et une expérience significatives.

Cette méthode s'est révélée être une solution efficace pour garantir la sécurité et la fiabilité des infrastructures ferroviaires. Toutefois, il est crucial de souligner l'importance de l'expertise et de l'expérience dans l'interprétation des mesures ultrasonores, en tenant compte des possibles confusions avec d'autres types de défauts. Ces travaux ouvrent ainsi la voie à de nouvelles recherches et à des améliorations continues dans le domaine du contrôle non destructif des voies de tramway.

ملخص

تتميز وسائل النقل الحديثة بكفاءتها في توفير الراحة لركاب، وخاصةً في الظروف الصعبة ولذلك، تم استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية في ترامواي ورقلة، وهو جهاز يستخدم لفحص السكك الحديدية في الترامواي والكشف عن العيوب الداخلية فيها، مثل التشققات والتشوهات والعيوب الطفيفة، وذلك لإجراء الصيانة اللازمة والحفاظ على سلامة السكة، وتعد هذه التقنية غير اتلافية من التقنيات الفعالة والمفيدة جداً للكشف المبكر عن العيوب وتقليل تكاليف الصيانة والتشغيل، ويمكن استخدامها بشكل فعال في البيئات القاسية، مما يتيح فحص السكك الحديدية بشكل أسرع وأكثر دقة وبالتالي، تُعدُّ هذه التقنية فعالةً ومفيدةً للحفاظ على سلامة السكة وتحسين كفاءة الصيانة والتشغيل.

الكلمات المفتاحية: ترامواي ، جهاز الموجات فوق الصوتية ، الصيانة ، سكة لحديد ترامواي.

Résume

Les moyens de transport modernes se caractérisent par leur efficacité à assurer le confort des passagers, notamment dans des conditions difficiles. Ainsi, un appareil à ultrasons a été utilisé dans le Tramway de Ouargla, un appareil servant à examiner les voies ferrées du tramway et à détecter les défauts internes de celui-ci, comme les fissures, les déformations et les défauts mineurs, afin d'effectuer l'entretien nécessaire, maintenir la sécurité de la voie. Cette méthode non destructive est l'une des méthodes les plus efficaces et les plus utiles pour la détection précoce des défauts et la réduction des coûts de maintenance et d'exploitation. Il peut être utilisé efficacement dans des environnements difficiles, permettant une inspection ferroviaire plus rapide et plus précise. Ainsi, cette technique est efficace et utile pour maintenir la sécurité de la voie et améliorer l'efficacité de la maintenance et de l'exploitation.

Mots clés : tramway, appareil à ultrasons, maintenance, rail de tramway.

Abstract

Modern means of transport are characterized by their efficiency in ensuring passenger comfort, especially in difficult conditions. Thus, an ultrasonic device was used in the Ouargla Tramway, a device used to examine the tram tracks and detect internal defects of the latter, such as cracks, deformations and minor defects, in order to carry out the necessary maintenance keeping the track safe. This non-destructive expertise is one of the most efficient and useful technic for the early detection of faults and the reduction of maintenance and operating costs. It can be used effectively in harsh environments, enabling faster and more accurate rail inspection. Thus, this method is effective and helpful in maintaining track safety and improving maintenance and operation efficiency.

Keywords: tramway, ultrasound device, maintenance, tramway rail.

Bibliographie

Bibliographie

[1] **François Monchy Jean-Pierre Vernier** MAINTENANCE Méthodes et organisations pour une meilleure productivité 3e ÉDITION 57967 – (I) - (0.6) – OSB 80° - IDT – MNL Dépôt légal : aout 2012 Dépôt légal de la 1^{ère} édition : mars 2010 Achevé d'imprimer par Dupli-Priant N° d'impression : 204386 Imprimé en France

[2] <https://www.beaucemedia.ca/contenucommandite/levolution-de-la-maintenance-industrielle/>

[3].A. Belhomme, Cours de stratégie de maintenance 2010/2011.

[4].http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/mokhtari_messouad/files/introduction_a_la_maintenance.pdf.

[5].**Ghallow Mohammed Islam Ismilia Adel** Mémoire MASTER Thème : Etude de performance de Circuit de conditionnement d'air de tramway Université Kasdi Merbah Ouargla Année universitaire : 2019/2020

[6].BERROUBA Mohammed EL Amine BASSOU Abdeslammémoire (Maintenance des appareils de tramway de Ouargla) université kasdimerbah – ouargla 2021/2022

[7] **KEDIDI Abessamed & BABKAR Omar** Mémoire Master Thème: Etude du confort thermique du tramway dans la ville de Ouargla UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA Soutenu publiquement Le : 22/ 06 / 2019 Année universitaire : 2018/2019

[8] Mohamed BENTOUMI Thème (Application au diagnostic de défauts de surface de rail) présentée et soutenue publiquement le 15 10 2004 pour l'obtention du Doctorat de l'université Henri Poincaré – Nancy 1.

[9] <https://www.vossloh.com/fr/produits-et-solutions/vue-densemble-de-nos-produits/maintenance-des-rails-appareils-de-voie/schienenfehler.html>

[10] Thèse de doctorat Analyse tribologique du contact roue-rail Modélisation et expérimentations cas de l'usure ondulatoire

[11]. Wissam SLIMANE, mémoire « **Conception d'un Système Multi-Capteurs à Courants de Foucault pour le Contrôle Non Destructif (CND)**, » Université de BATNA, Mémoire De Magistère 2008.

Bibliographie

[12]. COURS CONTROLES NON DESTRUCTIFS«**INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE JENDOUBA DEPARTEMENT MAINTENANCE INDUSTRIELLE**» MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA TECHNOLOGIE ISET **2005 2006**.

[13]<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/plastochimie-et-analyse-physico-chimique-42139210/introduction-a-l-analyse-physico-chimique-des-polymeres-am3270/cas-particuliers-des-methodes-destructives-am3270niv10002.html>

[14].A. *HECINI : CND Techniques de détections des défaillances* Université Kasdi Merbah Ouargla Année universitaire :2021.

[15] CHOUIKH Messaoud Thème (**Contrôle non destructif des joints de soudure des pièces métalliques par ultrasons**) ENSMM-Annaba- 2018.

[16]FoudilMéguellati Thème(Outils et algorithmes adaptés pour l'estimation des signaux ultrasonores)Université Mohammed Sedik Ben Yahia – Jijel- 2020.

[17]. **Alaeddine lakhdari**, "Etude et modélisation de capteurs en CND par courants de Foucault : application à la détection des fissures," **mémoire de Master 2011**.

[18] Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes *Présentée et soutenue publiquement par* Brahim RAMDANE Contribution à la modélisation tridimensionnelle de la technique thermo inductive de contrôle Non destructif : Développement d'un outil de Conception, d'analyse et d'aide à la décision.

[19]Ali Raid. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique : **CONTRÔLE NON DESTRUCTIF USTOMB 2017-2018**.

[20] <https://www.technologuepro.com/cours-controles-non-destructifs-bbf/chapitre-7-les-ultrasons.html>

[21][<https://www.rocdacier.com/examen-soudures-ultrasons/>].

[22] kadamkarim et gharabitayabThème (**Contrôle non destructif**)Univerciteahmeddoraya – adrar**2017/2018**.

[23] Formation de control Non destructif CND "Ultrason théorie".

[24] S. Fourez, "Caractérisation de couches minces par ondes de surface générées et détectées par sources lasers," phdthesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2013.

Bibliographie

- [25] M. Lemaire, Caractérisation de structures du type couche sur substrat par ultrasons lasers. Valenciennes, 2008
- [26]<https://ged.uphf.fr/nuxeo/site/esupversions/c82a4580-d237-45b4-9231-b1687d64552f>
- [27] ZEDDAM Mabrouk mémoire master thème : localisation des défauts dans les structures par ultrasons université 8 mai 1945-Guelma année universitaire : 2014-2015
- [28] https://www.gt-railservice.com/fileadmin/user_upload/PDF/Messtechnik/Mess-und-Prueftechnik_FR.pdf
- [29] Railway Transportation Systems, Design, Construction and Operation, CHRISTOS N. PYRGIDIS Aristotle University of Thessaloniki, Greece, A SPON PRESS BOOK
- [30] **BENHASSANI Wahiba** DIPLÔME DE MASTER Thèse : La commande de tramway Cas de tramway de constantine Université Larbi Ben M'Hidi-Oum El Bouaghi Juin 2016.
- [31] **Xavier MORIZE** CONTRIBUTIONS A UNE APPROCHE PATRIMONIALE POUR LA VOIE FERREE DE TRAMWAY Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est ECOLE DOCTORALE VILLE, TRANSPORTS ET TERRITOIRES Thèse dirigée par Fabien LEURENT Submitted on 19 Jul 2021
- [32] **Abdalaziz Kahlouche** Doctorat Troisième Cycle – LMD Thèse : Pour une insertioperformante et durable dans le système global de mobilité, étude de cas Tramway de constantine, Université Frères Mentouri Constantine 1 Soutenu le : 20/01/2019
- [33]<https://www.metroalger-dz.com/fr/activites.php?idAC=66&EMA=TRW>
- [34]<https://www.asecomrails.com/rails/rails-a-gorge/>
- [35]<https://www.urbanrail.net/af/ouargla/ouargla.htm>