

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 Présenté
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER En Electromécanique
Option : Maintenance Industrielle

Présenté Par :

HAFIANE Aymen
Et
BENAZZA Aymen

Thème :

*Importance du suivi de la température
des appareils de dilatation sur les ponts
ferroviaires : cas du tramway*

Soutenu le 10/06/2024 devant le jury composé par :

BATOCHE Mouna	MAA	Université de Kasdi Merbah Ouargla	Président
CHIBA Elhocine	MAB	Université de Kasdi Merbah Ouargla	Encadreur
KAREK Rabie	MCB	Université de Kasdi Merbah Ouargla	Examineur

Juin 2024

Résumé

La maintenance des appareils de dilatation est essentielle pour assurer la sécurité, la durabilité et la fiabilité des systèmes ferroviaires, avec une attention particulière portée au cas spécifique du tramway. Cette démarche vise à assurer le bon fonctionnement, la sécurité et la pérennité des systèmes ferroviaires. En effet, les appareils de dilatation jouent un rôle essentiel dans la gestion des contraintes thermiques et structurelles subies par les ponts ferroviaires au fil du temps. Dans ce travail, des mesures expérimentales ont été réalisées sur le site du tramway de la ville d'Ouargla en mesurant l'écart entre les rails dans les appareils de dilatation ferroviaire pendant six mois. Ce suivi attentif permet de prévenir d'éventuels problèmes, de garantir le passage en toute sécurité des tramways, et de prolonger la durée de vie utile des ponts ferroviaires, ce qui est crucial pour la fiabilité et la rentabilité des réseaux de transport en commun.

Mots clé : Maintenance industrielle, appareil de dilatation, Pont ferroviaire, et Sécurité ferroviaire.

ملخص

تعد صيانة أجهزة التمدد أمرًا ضروريًا لضمان سلامة ومتانة وموثوقية أنظمة السكك الحديدية، مع إيلاء اهتمام خاص لحالة خطوط الترام المحددة. ويهدف هذا النهج إلى ضمان حسن سير أنظمة السكك الحديدية وسلامتها واستدامتها. في الواقع، تلعب أجهزة التمدد دورًا أساسيًا في إدارة الضغوط الحرارية والهيكليّة التي تتعرض لها جسور السكك الحديدية مع مرور الوقت. تم في هذا العمل إجراء قياسات تجريبية بموقع الترامواي بمدينة ورقلة من خلال قياس الفجوة بين القضبان في أجهزة توسيع السكة الحديدية لمدة ستة أشهر. وتساعد هذه المراقبة الدقيقة على منع المشاكل المحتملة، وتضمن المرور الآمن للترام، وتطيل العمر الإنتاجي لجسور السكك الحديدية، وهو أمر بالغ الأهمية لموثوقية وربحية شبكات النقل العام.

الكلمات المفتاحية: الصيانة الصناعية، جهاز التوسعة، جسر السكك الحديدية، سلامة السكك الحديدية.

Abstract

The maintenance of expansion devices is essential to ensure the safety, durability and reliability of rail systems, with particular attention paid to the specific case of tramways. This approach aims to ensure the proper functioning, safety and sustainability of rail systems. Indeed, expansion devices play an essential role in managing the thermal and structural stresses experienced by railway bridges over time. In this work, experimental measurements were carried out at the tramway site in the city of Ouargla by measuring the gap between the rails in the railway expansion devices for six months. This careful monitoring helps prevent possible problems, guarantees the safe passage of trams, and extends the useful life of railway bridges, which is crucial for the reliability and profitability of public transport networks.

Keywords: Industrial maintenance, expansion device, Railway bridge, and Railway safety.

Dédicace

*À mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont
été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours,*

À mes frères

À toute ma famille

À tous mes enseignants

À mon encadreur

À tous mes amis et mes collègues

À Toute la famille du département de Génie Mécanique

Je dédie ce modeste travail

Aymen

Remerciements

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur **CHIBA ElHocine**. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Je remercie aussi tous **les membres du jury** d'avoir accepté de lire Ce manuscrit et apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de ce mémoire.*

*Je remercie beaucoup tous les enseignants qui m'ont enseigné durant mon parcours académique, mention spéciale aux enseignants de **spécialité Maintenance Industrielle**.*

*Je n'oublie pas non plus de remercier ma chère famille, mes très parents, qui ont toujours été là pour moi, et mes frère **Hicham, Houssame et Yacine** pour leurs encouragements.*

Enfin, je remercie tous mes amis et mes collègues de promotion 2023 - 2024 de département de génie mécanique qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Aymen Hafiane

Sommaire

Résumé

Dédicace

Remerciement

DEDICACE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : MAINTENANCE ET STRATEGIE	3
I.1. INTRODUCTION	4
I.1.1. OBJETS DE MAINTENANCE :	4
I.1.1. IMPORTANCE DE LA STRATEGIE DE MAINTENANCE	4
I.2. HISTORIQUE DE MAINTENANCE	4
I.3. PLANIFICATION DE LA MAINTENANCE	5
I.3.1. ÉVALUATIONS DES BESOINS DE MAINTENANCE :	5
I.3.2. L'ETABLISSEMENT D'UN CALENDRIER DE MAINTENANCE	6
I.4. LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE	6
I.5. STRATEGIE DE MAINTENANCE PREVENTIVE	7
I.5.1. L'IDENTIFICATION DES EQUIPEMENTS A ENTRETENIR :	7
I.5.2. DEFINITION DES TACHES DE MAINTENANCE PREVENTIVE	7
I.5.3. LA FREQUENCE DES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE :	8
I.5.4. LE SUIVI ET L'EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA MAINTENANCE	8
I.6. STRATEGIE DE MAINTENANCE CORRECTIVE	8
I.6.1. LA GESTION DES PANNES ET DES DEFAILLANCES	9
I.6.2. REPARATION ET REMPLACEMENT DES EQUIPEMENTS DEFECTUEUX :	9
I.6.3. L'ANALYSE DES CAUSES RACINES DES PANNES	9
I.7. STRATEGIE DE MAINTENANCE PREDICTIVE	10
I.7.1. UTILISATION DE CAPTEURS ET DE SYSTEMES DE SURVEILLANCE :	10
I.7.2. L'ANALYSE DES DONNEES POUR DETECTER LES SIGNES DE DEFAILLANCE :	11
I.7.3. LA PLANIFICATION DES INTERVENTIONS EN FONCTION DES PREDICTIONS	11
I.8. L'OPTIMISATION DE LA STRATEGIE DE MAINTENANCE	11
I.8.1. MAINTENANCE PREVENTIVE	11
I.8.2. MAINTENANCE PREDICTIVE	12
I.8.3. MAINTENANCE DE FIABILITE	12
I.9. CONCLUSION	12
CHAPITRE II : DESCRIPTION DE L'APPAREIL DE DILATATION	13
II.1. INTRODUCTION	14
II.2. DEFINITION DES APPAREILS DE DILATATION FERROVIAIRE :	14
II.3. IMPORTANCE DE LEUR MAINTENANCE POUR LE BON FONCTIONNEMENT DES VOIES FERREES	15
II.4. OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE DES APPAREILS DE DILATATION	16

II.5. TYPES D'APPAREILS DE DILATATION	17
II.5.1. APPAREILS DE DILATATION LONGITUDINALE	17
II.5.2. APPAREILS DE DILATATION TRANSVERSALE	17
II.5.3. APPAREILS DE DILATATION EN BIAIS	17
II.5.4. DISPOSITIFS DE COMPENSATION THERMIQUE	17
II.5.5. JOINTS ELASTIQUES	17
II.5.6. APPAREILS DE DILATATION ARTICULES	17
II.5.7. APPAREILS DE DILATATION A ROULEAUX	18
II.5.8. SYSTEMES DE DILATATION PAR FRICTION	18
II.5.9. JOINTS EXPANSIFS	18
II.6. DOCUMENTATION ET SUIVI (APPAREIL DE DILATATION DU TRAMWAY OUARGLA)	
FICHE TECHNIQUE [43]	18
II.6.1. DONNÉES DE BASE :	18
II.6.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	19
II.6.3. CRITÈRE DE CONCEPTION :	19
II.6.4. MATÉRIAUX	20
II.6.5. INSTRUCTIONS D'INSTALLATION DES APPAREILS DE DILATATION (AD)	20
II.6.5.1. Pré-assemblage, inspection après l'arrivée sur site et manutention	20
II.6.5.2. Travaux préparatoires, d'installation et réglage	20
II.7 CONCLUSION	22
CHAPITRE III : DESCRIPTION LE SITE DU TRAMWAY ET LA METHODE DE MESURE	23
III.1 INTRODUCTION	24
III.2 LA MAINTENANCE DE L'APPAREIL DE DILATATION	24
III.3 METHODES DE MESURE UTILISEES POUR EVALUER LES PERFORMANCES DU TRAMWAY	24
III.4 CONCEPTION ET PLANIFICATION	26
III.4.1 LE PONT :	26
III.5 PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS LORS DU SUIVI DE LA MAINTENANCE DES APPAREILS DE DILATATION	28
III.6 COMPARAISON DES PERFORMANCES AVANT ET APRES LA MAINTENANCE	30
III.7 ANALYSE DES RISQUES	31
III.8 CONCLUSION	31
CHAPITRE IV : NOTION DE SECURITE	32
IV.1. INTRODUCTION	33
IV.2. DIAGRAMME DE SECURITE	33
IV.3. SANTE ET SECURITE AU TRAVAIL	34
IV.4. REVUES DE SECURITE	34
IV.5. PROTECTION DES EQUIPEMENTS	35
IV.5.1. INVENTAIRE DE L'EQUIPEMENT ET DES OUTILS	35
IV.5.2. LUBRIFICATION	35
IV.5.3. CONTROLES ENVIRONNEMENTAUX	35
IV.5.4. COMBINAISONS DE TRAVAIL	35
IV.5.5. ÉQUIPEMENT DE PROTECTION AUDITIVE SUR LE LIEU DE TRAVAIL	36
IV.5.6. LE CASQUE UTILISE DANS L'INDUSTRIE	36
IV.5.7. CHAUSSURES UTILISEES DANS L'INDUSTRIE	37
IV.5.8. MOYENS DE PREVENIR LES RISQUES ELECTRIQUES	37

IV.6. PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	37
IV.6.1. GESTION DES DECHETS	37
IV.6.2. MANIPULATION DES PRODUITS CHIMIQUES	38
IV.6.3. QUALITE DE L'AIR	38
IV.6.4. CONTROLE DU BRUIT	38
IV.6.5. CONSERVATION DE L'ENERGIE	38
IV.7 CONCLUSION	38
CONCLUSION GENERALE	39

Liste des figures

Chapitre I

FIGURE 1- 1 : LES TYPES DE MAINTENANCE	6
--	---

Chapitre II

FIGURE 2-1 : APPAREIL DE DILATATION	14
FIGURE 2-2 : POSITIONNEMENT DES APPAREILS DE DILATATION SUR LE PONT	15

Chapitre III

FIGURE 3-1 : MESUREZ L'ECART ET LE JOINT DU PONT	25
FIGURE 3-2 : TEMPERATURE DU RAIL SOUS LE SOLEIL DANS DES DIFFERENTS MOMENTS	26
FIGURE 3-3 : VARIATION DE TEMPERATURE AU COURS DE L'ANNEE 2021 (OUARGLA)	26
FIGURE 3-4 : STRUCTURE D'UN PONT FERROVIAIRE [43]	27
FIGURE 3-5 : LES CULEES DES PONTS (A) ET (B) [43]	27
FIGURE 3-6 : PILIERS STABILISES MECANIQUEMENT FIXES PAR REMBLAI RENFORCE [43]	28
FIGURE 3-7 : LA LONGUEUR DE L'ECART ENTRE LES RAILS EN DER SUR PONT FERROVIAIRE : (A) RAIL1 (B) RAIL2	28
FIGURE 3-8 : REPARTITION DES CONTRAINTES THERMIQUES SUR LE RAIL (MPa) A 7H00, 12H00 ET 21H00	30

Chapitre IV

FIGURE 4-1 : COMBINAISONS DE TRAVAIL	35
FIGURE 4-2 : ÉQUIPEMENT DE PROTECTION AUDITIVE	36
FIGURE 4-3 : CASQUE	36
FIGURE 4-4 : CHAUSSURE DE PROTECTION	37

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau3-1 : Tableau (1) Résultats des déformations/déplacements sur DER

Tableau3-2 : Tableau (2) Mesure de la température sur les rails pendant la période estivale.

Introduction Générale

Les ponts ferroviaires jouent un rôle crucial dans l'infrastructure de transport, permettant le passage sûr et efficace des trains, y compris les tramways, au-dessus des obstacles naturels et artificiels tels que les rivières, les routes et les vallées. L'intégrité structurelle et le bon fonctionnement de ces ponts dépendent de divers composants techniques, parmi lesquels les appareils de dilatation occupent une place prépondérante.

Les appareils de dilatation sont des dispositifs installés dans les ponts pour absorber les mouvements dus aux variations de température, aux charges dynamiques et aux autres facteurs environnementaux. Ils permettent de gérer les contraintes thermiques et mécaniques en assurant la continuité de la voie ferrée et en minimisant les risques de fissures ou de défaillances structurelles. Leur rôle est d'autant plus critique dans le contexte des tramways, où la fréquence élevée des passages et la nature souvent urbaine du réseau imposent des exigences supplémentaires en termes de sécurité et de fiabilité.

La maintenance des appareils de dilatation est donc essentielle pour garantir la longévité et la sécurité des ponts ferroviaires. Un suivi régulier et rigoureux permet de détecter les signes de vieillissement ou d'usure prématurée, d'anticiper les réparations nécessaires et de prévenir les accidents potentiels. Le non-respect de ces protocoles de maintenance peut entraîner des défaillances graves, affectant non seulement la structure du pont, mais aussi la sécurité des passagers et la fluidité du trafic ferroviaire.

Aussi la surveillance de la température des appareils de dilatation est essentielle pour assurer la sécurité, la durabilité et la fiabilité des systèmes ferroviaires, avec une attention particulière portée au cas spécifique du tramway. Cette démarche vise à assurer le bon fonctionnement, la sécurité et la pérennité des systèmes ferroviaires. En effet, les appareils de dilatation jouent un rôle essentiel dans la gestion des contraintes thermiques et structurelles subies par les ponts ferroviaires au fil du temps.

Dans le cadre de cette étude, nous examinerons l'importance du suivi de la maintenance des appareils de dilatation spécifiques aux ponts ferroviaires utilisés par les tramways.

Notre étude est menée sur le site du tramway d'Ouargla et collabore avec La direction générale de l'équipe de la maintenance de SETRAM Ouargla. La structure de cette mémoire comprend quatre chapitres :

- Le premier chapitre est dédié à une synthèse bibliographique sur la stratégie de maintenance.

- Le deuxième chapitre description de l'appareil de dilatation.

- Le troisième chapitre description le site du tramway et la méthode de mesure.

- Le quatrième chapitre ressource et sécurité.

Chapitre I

Maintenance et stratégie

I . Introduction

"Maintenance et stratégie" offre un aperçu général du domaine de la maintenance et souligne son importance pour le bon fonctionnement des équipements et des installations. Il présente également le but du travail, qui est d'explorer les objectifs et la stratégie de maintenance. Le lecteur est introduit aux différents aspects qui seront abordés tout au long du document. [1]

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur les différents types de la maintenance et leur application dans le domaine ferroviaire.

I 1.1 Objets de maintenance :

Cette section se concentre sur les objets de maintenance. Il répond à l'importance de la performance et de la durée de vie de l'équipement, en minimisant les températures non planes et les couvertures de réparation. Les objets de maintenance incluent la sécurité de l'assurance voyage et la réduction des impacts environnementaux des opérations. Cette section fournit un ajustement plus clair pour la maintenance que vous devez effectuer. [1]

I 1.2 Importance de la stratégie de maintenance :

La stratégie de maintenance est cruciale pour l'efficacité et le succès du programme de maintenance. Il vous permet d'installer une application système pour planifier, exécuter et prendre en charge les activités de maintenance. Cette section contient des informations sur la stratégie d'importation des compensations de maintenance pour optimiser les ressources, minimiser les coûts, assurer la disponibilité des équipements et maximiser la durée de vie. Une bonne stratégie de maintenance

Contribuer à la rougeur des vitres et aux températures affectées, ainsi qu'à la productivité globale de l'organisation. [1]

I.2 Historique de maintenance

L'historique de maintenance revient aux moulins de l'année, lorsque les réseaux sociaux précédents sont connectés à l'utilisation des prises et des équipements. C'est le moment où l'entretien s'impose et il se limite à la réparation directe des objets ou usages endommagés. Dans le même temps, en raison du développement de la technologie et du développement des industries, la maintenance est de plus en plus avancée. [1]

La première maintenance se forme pour organiser une urgence sur les réseaux sociaux locaux, où les agriculteurs qui ont installé leurs huiles et autres équipements pour assurer le succès de leurs réparations. Il s'agit d'un contrat visant à développer des pratiques d'entretien préventif, vous indiquant l'utilité des prises et la réparation des machines agricoles avant le début de la saison des cultures. [1]

Pendentif de l'industrie, la maintenance est d'une grande importance avec la disponibilité de machines complexes dans nos utilisations et fabrications. Les cuves refroidies et les périodes prolongées pendant lesquelles les entreprises sont installées sont

mis en place avec des programmes de maintenance préventive et prédictive pour assurer un fonctionnement optimal de l'équipement. [1]

Au cours de la 20ème session, la technologie est entrée dans une expansion significative des pratiques de maintenance, notant l'introduction de la condition de maintenance et de la base de maintenance sur la fiabilité. Cela s'applique aux entreprises qui fournissent les équipements en temps réel et prennent des mesures préventives avant que les vitres ne les produisent. [1]

Aujourd'hui, avec l'accès aux objets Internet (IoT) et aux technologies industrielles 4.0, le maintien d'une nouvelle technologie. Les capteurs connectés et les analyses avancées des systèmes permettent une surveillance continue des activités, tandis que l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique sont utilisés pour préparer les vitres et optimiser les programmes de maintenance. [1]

Au cours, l'histoire de la maintenance est une histoire d'innovation continue, où les sociétés s'efforcent de maximiser la disponibilité et la fiabilité des équipements tout en minimisant les coûts et les temps d'arrêt. De la simple réparation des prises de la maintenance prédictive par l'IA, la maintenance est stationnée depuis longtemps pour assurer une discipline incontournable dans tous les secteurs modernes de l'industrie. [1]

I.3 Planification de la maintenance

La planification de la maintenance implique l'organisation des tâches de maintenance pour garantir le bon fonctionnement des équipements. Un planning de maintenance est un document qui répartit clairement les interventions sur une période donnée, affectant chaque tâche à un technicien en tenant compte des habilitations et des permis. Il permet de prioriser les activités de maintenance, prolonge la durée de vie des équipements et optimise les interventions, générant des économies significatives. [2.4]

Pour créer un planning efficace, il est essentiel d'inclure des éléments tels que le détail des opérations, la périodicité de l'entretien, l'équipement technique associé et la durée prévisionnelle pour chaque intervention [2]. Une bonne planification de la maintenance permet de réduire les coûts, d'assurer la sécurité, d'optimiser les tournées des techniciens et d'améliorer la satisfaction des clients et des collaborateurs. [2,3,4]

La Troisième classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelable utilisées. La structure peut contenir un système photovoltaïque, Ferme éolienne, des convertisseurs d'énergie hydraulique, ou une combinaison de ces sources. [2]

I.3.1 Évaluations des besoins de maintenance :

Les évaluations des besoins de maintenance sont essentielles pour garantir le bon fonctionnement des équipements et optimiser les coûts. Elles permettent de caractériser les besoins alimentaires pour la maintenance corporelle des animaux, comme dans le cas des

vaches Holstein, où des évaluations génétiques sont utilisées pour réduire les coûts alimentaires et améliorer la rentabilité des producteurs laitiers [7]. De plus, identifier les besoins en matière de GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) est crucial pour choisir la solution adaptée à une entreprise, en prenant en compte des éléments tels que l'inventaire des équipements, les coûts de maintenance, les fonctionnalités nécessaires et les compétences des équipes [6]. En outre, l'utilisation d'indicateurs clés de performance (KPI) dans le domaine de la maintenance industrielle est primordiale pour mesurer la performance des processus et des biens, permettant ainsi d'améliorer la rentabilité de l'entreprise et d'optimiser la disponibilité des équipements [5]. Ainsi, évaluer et répondre aux besoins de maintenance de manière proactive est un aspect crucial pour assurer l'efficacité opérationnelle et la rentabilité des activités.

I.3.2 L'établissement d'un calendrier de maintenance :

Est crucial pour assurer le bon fonctionnement des équipements et optimiser les opérations. Un calendrier de maintenance préventive comprend plusieurs types de maintenance, tels que la maintenance préventive systématique, conditionnelle et prévisionnelle, chacune basée sur des critères spécifiques pour anticiper les défaillances et planifier les interventions [9]. Il doit contenir des informations essentielles sur les intervenants, les équipements, les données techniques et le planning des interventions, afin d'assurer une gestion efficace des activités de maintenance [9]. La planification de la maintenance préventive repose sur des données fiables, des intervalles de maintenance appropriés, une hiérarchisation des tâches et une flexibilité pour s'adapter aux imprévus, permettant ainsi d'optimiser la disponibilité des équipements, de réduire les coûts de maintenance et d'améliorer la productivité globale des activités [8].

I.4 Les différents types de maintenance

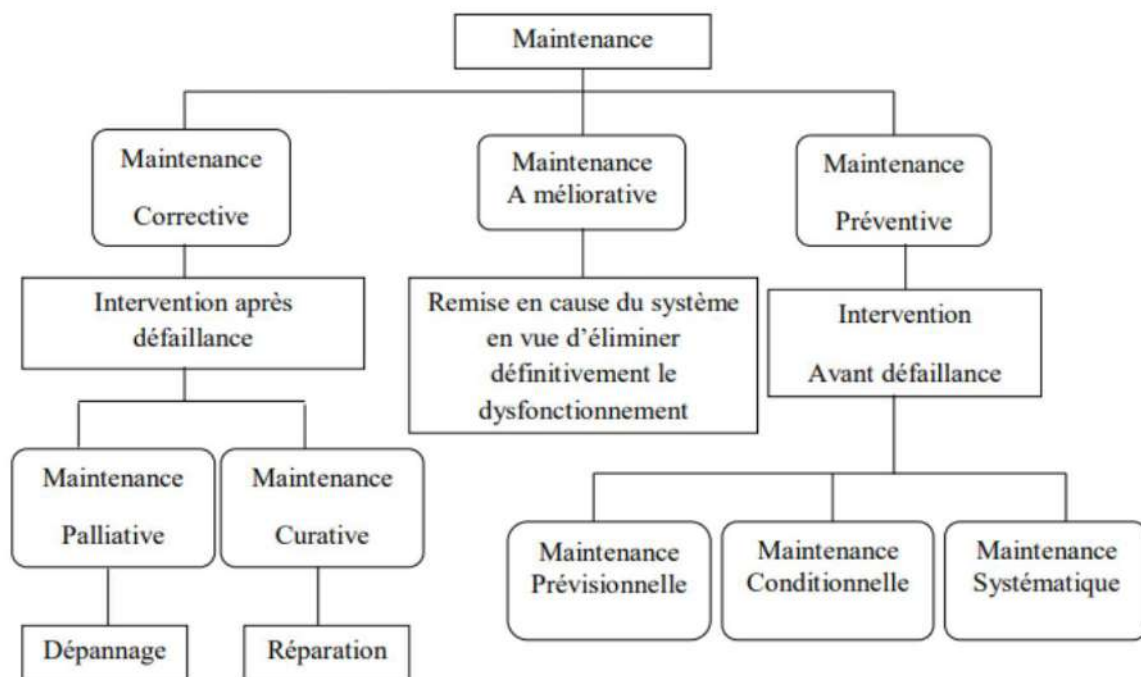


Figure I- 1 : Les types de maintenance

I.5 Stratégie de maintenance préventive

La maintenance préventive est une stratégie essentielle pour assurer le bon fonctionnement des équipements et optimiser les opérations. Elle consiste en l'organisation de contrôles à intervalles réguliers sur différents équipements du parc industriel, permettant aux techniciens de maintenance d'optimiser la durée de vie des équipements et de garantir le fonctionnement continu des chaînes de production [11,12]. Cette stratégie présente de nombreux avantages par rapport à la maintenance corrective, tels que la réduction de la fréquence des pannes, des périodes d'arrêt des machines, une meilleure sécurité, une durée de vie accrue des équipements et une amélioration de la productivité [10]. En outre, l'utilisation d'une GMAO de dernière génération permet d'évoluer vers une maintenance prévisionnelle, basée sur des prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des données, notamment grâce à des capteurs connectés aux machines [10]. Ainsi, la mise en place d'une stratégie de maintenance préventive efficace, soutenue par une GMAO moderne, est cruciale pour optimiser la disponibilité des équipements, réduire les coûts de maintenance et améliorer la productivité globale des activités industrielles.

I.5.1 L'identification des équipements à entretenir :

Est une étape cruciale pour assurer la fiabilité des opérations industrielles. Il est essentiel de procéder à une identification précise des besoins et objectifs de l'entreprise, puis d'établir un plan d'entretien régulier incluant la maintenance préventive ou prédictive réalisée par des techniciens qualifiés. La maintenance préventive consiste à effectuer régulièrement des évaluations approfondies de l'état des installations et à les réviser, tandis que la maintenance prédictive permet de déterminer le meilleur moment pour intervenir en fonction de divers paramètres. Ces opérations incluent des tâches telles que les vidanges, la remise en état de composants spécifiques, les réparations, et les mises à jour sur des équipements complexes, contribuant ainsi à prolonger la durée de vie des installations, à améliorer le retour sur investissement et à éviter les pannes coûteuses. En résumé, une identification précise des équipements à entretenir, associée à un plan d'entretien régulier et professionnel, est essentielle pour garantir la performance et la durabilité des équipements industriels. [13]

I.5.2 Définition des tâches de maintenance préventive :

La maintenance préventive consiste à anticiper toute panne ou défaillance d'un actif industriel en optimisant ses performances. Elle implique la planification régulière d'inspections, de contrôles, de révisions et de remplacements préventifs pour garantir la fiabilité, la disponibilité et la durabilité des machines et infrastructures industrielles [14]. Les tâches de maintenance préventive incluent des actions telles que l'inspection systématique des équipements selon des critères spécifiques, la planification d'interventions régulières pour éviter les pannes, le remplacement de composants à intervalles prédéterminés, l'ajustement de paramètres, la surveillance des opérations basée sur des indicateurs, et la programmation d'interventions en fonction de données transmises [9]. En combinant des éléments de maintenance prédictive avec la maintenance préventive, les entreprises peuvent réduire les incidents, diminuer les coûts, prolonger la durée de vie des équipements et améliorer l'efficacité opérationnelle [16].

I.5.3 La fréquence des interventions de maintenance :

Dépend de plusieurs facteurs, tels que les conditions d'exploitation, la criticité de l'application utilisateur et le type de maintenance à réaliser. Selon les recommandations fournies, la fréquence des interventions varie en fonction de ces paramètres. Par exemple, pour un Programme de maintenance de base utilisateur, la fréquence recommandée peut être de 2 ans pour des conditions d'exploitation favorables, 1 an pour des conditions normales, et également 1 an pour des conditions sévères [17]. Pour un Programme de maintenance standard utilisateur, la fréquence peut être de 4 ans pour des conditions d'exploitation favorables, 2 ans pour des conditions normales, et 2 ans pour des conditions sévères [17]. Enfin, pour un Programme de maintenance constructeur, la fréquence recommandée peut varier de 6 ans pour des conditions d'exploitation favorables à 2 ans pour des conditions sévères [17]. Ces recommandations de fréquence sont essentielles pour assurer la fiabilité des équipements et optimiser les opérations industrielles.

I.5.4 Le suivi et l'évaluation de l'efficacité de la maintenance :

Sont des aspects cruciaux pour garantir le bon fonctionnement des équipements industriels. Pour ce faire, il est essentiel de mettre en place des indicateurs clés de performance (KPI) spécifiques à la maintenance. Ces indicateurs peuvent inclure la disponibilité des équipements, leur fiabilité, leur rendement, leur efficacité, le temps moyen entre les pannes, l'efficacité du service de maintenance, entre autres [2]. En surveillant et en analysant ces KPI, les entreprises peuvent évaluer l'efficacité de leurs opérations de maintenance, identifier les domaines nécessitant des améliorations et prendre des mesures correctives pour optimiser la performance globale des équipements [19]. En outre, le suivi régulier de ces indicateurs permet de mesurer la productivité, d'anticiper les pannes potentielles et d'optimiser les coûts liés à la maintenance industrielle [20]. Ainsi, en mettant en place une surveillance efficace des KPI de maintenance et en évaluant régulièrement leur performance, les entreprises peuvent améliorer la fiabilité de leurs équipements, réduire les temps d'arrêt non planifiés et augmenter leur efficacité opérationnelle.

I.6 Stratégie de maintenance corrective

La stratégie de maintenance corrective consiste à intervenir sur un équipement uniquement après qu'une panne ou une défaillance se soit produite, visant ainsi à réparer l'équipement pour restaurer son fonctionnement normal. Cette approche est généralement réservée aux équipements non critiques ou redondants, faciles à remplacer ou à réparer, car elle ne peut pas être planifiée à l'avance. La maintenance corrective présente des avantages tels qu'une réduction de la planification, un processus simple basé sur les besoins, des coûts moindres à court terme, une amélioration de la planification des ressources, une réduction des temps d'arrêt et la prolongation de la durée de vie des actifs. Cependant, elle peut également présenter des inconvénients, notamment des interruptions non planifiées, des coûts plus élevés à long terme et une optimisation limitée de la durée de vie des équipements si elle n'est pas complétée par une stratégie de maintenance préventive [21].

I.6.1 La gestion des pannes et des défaillances :

Est un aspect crucial de la maintenance industrielle pour assurer la fiabilité des équipements. Elle implique la mise en place de stratégies efficaces pour diagnostiquer, prévenir et réparer les pannes afin de minimiser les temps d'arrêt et les coûts associés. Les pannes et les défaillances peuvent avoir un impact significatif sur la production, la rentabilité et la satisfaction des clients, d'où l'importance de mettre en place des processus de maintenance préventive et corrective. Les indicateurs clés de performance (KPI) jouent un rôle essentiel dans le suivi de l'efficacité de la maintenance, en permettant d'évaluer la disponibilité des équipements, la qualité du service et la productivité globale. En outre, la gestion des pannes et des défaillances nécessite une approche proactive, basée sur une analyse approfondie des causes racines, une planification adéquate des interventions et l'utilisation d'outils tels que la GMAO pour optimiser les processus de maintenance [19, 20,24,25,26]. En résumé, une gestion efficace des pannes et des défaillances est essentielle pour maintenir la performance opérationnelle, réduire les coûts et assurer la durabilité des équipements industriels.

I.6.2 Réparation et remplacement des équipements défectueux :

Les décisions concernant la réparation ou le remplacement d'équipements défectueux dépendent de plusieurs facteurs. La réparation est souvent préférable pour des problèmes mineurs tels qu'un composant cassé, une batterie endommagée ou un écran fissuré. Cependant, si un grand nombre d'appareils nécessite des réparations fréquentes, il peut être plus rentable de les remplacer par des équipements plus robustes. Il est recommandé de réparer lorsque les coûts de remplacement sont disproportionnés par rapport à la valeur de l'équipement ou si les appareils sont personnalisés et difficiles à remplacer. En revanche, le remplacement peut être plus approprié pour des équipements présentant un taux de défaillance élevé, des problèmes de compatibilité, des logiciels obsolètes ou des équipements essentiels. Il est essentiel de prendre en compte la durée de vie restante de l'équipement, les coûts associés à la réparation ou au remplacement, ainsi que la disponibilité de pièces de rechange. En cas de défaut de fabrication, la loi prévoit que la réparation ou le remplacement doivent être effectués sans frais pour le consommateur, conformément à l'article L. 217-11 du Code de la consommation [27].

I.6.3 L'analyse des causes racines des pannes :

Est une méthode essentielle pour identifier les origines profondes des problèmes afin de mettre en place des solutions durables. Cette approche, également connue sous le nom de Root Cause Analysis (RCA), vise à remonter à la source réelle des pannes plutôt que de se contenter de traiter les symptômes apparents. En utilisant des outils tels que l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), le bilan d'impact, ou la méthode des 5 Pourquoi, les équipes peuvent identifier les causes racines potentielles, évaluer leur impact et trouver des solutions efficaces pour résoudre les problèmes de manière permanente.

L'analyse des causes racines permet de répondre à des questions clés telles que : y a-t-il des similitudes entre les causes racines identifiées ? Quelles causes semblent les plus problématiques ? En identifiant avec certitude les causes racines des pannes, les équipes

peuvent élaborer des solutions ciblées et prendre des mesures concrètes pour résoudre les problèmes à la source. Cette approche proactive contribue à améliorer la fiabilité des équipements, à réduire les temps d'arrêt et à optimiser les processus de maintenance industrielle [28,29,30,31].

I.7 Stratégie de maintenance prédictive

La stratégie de maintenance prédictive est une approche stratégique visant à optimiser l'utilisation des équipements en utilisant des données collectées à partir de dispositifs IoT tels que les capteurs, l'apprentissage automatique et la surveillance des équipements en temps réel. Cette méthode permet de déterminer le meilleur moment pour effectuer la maintenance des équipements, rationalisant ainsi les coûts de maintenance, optimisant la durée de vie des équipements, augmentant le temps de fonctionnement, réduisant les défaillances inattendues et améliorant la fiabilité des équipements. La maintenance prédictive repose sur l'analyse des données et d'autres modèles prédictifs pour anticiper les pannes et problèmes, permettant ainsi de programmer et d'effectuer des tâches de maintenance à l'avance pour améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire les temps d'arrêt. Cette approche offre une meilleure visibilité sur l'ensemble des opérations, réduit les coûts de maintenance, améliore les performances des actifs, renforce l'autonomie du personnel et permet d'anticiper les défaillances pour planifier la maintenance de manière proactive [32].

I.7.1 Utilisation de capteurs et de systèmes de surveillance :

Les capteurs et les systèmes de surveillance sont largement utilisés dans divers domaines pour collecter des données, surveiller les conditions environnementales, prévenir les pannes et améliorer l'efficacité opérationnelle. Ces technologies permettent de surveiller la qualité de l'air, la température, l'humidité, la pression, les vibrations, les gaz toxiques, et bien d'autres paramètres essentiels. Les capteurs IoT sont des outils clés pour collecter des données en temps réel, les analyser et déclencher des actions automatiques en réponse à des événements spécifiques. Ils sont utilisés dans divers secteurs tels que la surveillance des bâtiments pour l'efficacité énergétique, la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la prévention des pannes et des temps d'arrêt, et bien d'autres applications [33].

Les systèmes de surveillance basés sur l'IA utilisent une variété de capteurs pour surveiller les machines et les processus industriels. Ces capteurs, tels que les capteurs de vibrations, de pression, de température, d'humidité, de gaz et de sécurité, permettent de détecter les irrégularités, de prédire les pannes, de garantir un environnement de travail sûr et d'optimiser les opérations. L'IA associée à ces systèmes permet d'automatiser des tâches, d'évaluer le cycle de vie des machines, de planifier les fenêtres de maintenance et de réduire les coûts tout en augmentant la disponibilité des équipements [34].

En résumé, l'utilisation de capteurs et de systèmes de surveillance, notamment basés sur l'IoT et l'IA, offre des avantages significatifs en termes de surveillance à distance, d'automatisation, de prise de décisions rapides, de prévention des risques, de réduction des

coûts, d'amélioration de la sécurité et de l'efficacité opérationnelle dans divers secteurs industriels et environnementaux.

I.7.2 L'analyse des données pour détecter les signes de défaillance :

Est un processus crucial dans la gestion des entreprises pour anticiper les problèmes potentiels et prendre des mesures préventives. En utilisant des techniques telles que l'analyse statistique des données, les entreprises peuvent identifier des signaux faibles qui pourraient indiquer une défaillance future. Ces signaux peuvent inclure une méconnaissance du marché, une diminution de la rentabilité, des problèmes de trésorerie, des difficultés avec les fournisseurs et partenaires, ou des fluctuations du chiffre d'affaires. En surveillant de près ces indicateurs et en analysant régulièrement la performance de l'entreprise, il est possible d'anticiper les difficultés et de mettre en place des stratégies correctives pour éviter une crise financière ou une défaillance. Cette approche proactive permet aux entreprises de maintenir leur pérennité et de prendre des décisions éclairées pour assurer leur succès à long terme [35,36].

I.7.3 La planification des interventions en fonction des prédictions :

Est un aspect crucial pour optimiser l'efficacité opérationnelle et la gestion des ressources. En s'appuyant sur des prédictions basées sur des données et des analyses prédictives, les entreprises peuvent planifier de manière proactive les interventions, anticiper les besoins en ressources, et optimiser les plannings des techniciens. Cette approche permet de réduire les temps de déplacement, d'améliorer la productivité des équipes sur le terrain, d'augmenter la satisfaction des clients, et de minimiser les coûts de travail et de déplacement. En intégrant des prédictions dans la planification des interventions, les entreprises peuvent mieux gérer les priorités, optimiser les itinéraires, et garantir une utilisation efficace des ressources humaines et matérielles, contribuant ainsi à une meilleure qualité des interventions et à une performance accrue de l'organisation [37,38,39].

I.8 L'optimisation de la stratégie de maintenance :

Est un processus essentiel pour garantir l'efficacité opérationnelle des équipements et réduire les coûts associés à la maintenance. Cette optimisation repose sur plusieurs aspects clés, tels que l'adoption de stratégies adaptées aux besoins spécifiques de l'entreprise, l'amélioration des procédures de maintenance, et l'utilisation d'outils d'analyse et d'optimisation.

Selon les sources fournies, plusieurs approches peuvent être mises en œuvre pour optimiser la stratégie de maintenance :

I.8.1 Maintenance Préventive :

Programmation d'inspections régulières pour optimiser la durée de vie des équipements et assurer un fonctionnement continu des chaînes de production.

I.8.2 Maintenance Prédicative:

Anticipation des pannes et dysfonctionnements grâce à des contrôles minutieux basés sur des données en temps réel, permettant de minimiser les arrêts de production et les coûts de réparation.

I.8.3 Maintenance de Fiabilité:

Inspection des équipements critiques en fonction de leur importance dans la chaîne de production, en privilégiant les contrôles réguliers sur les éléments réputés défaillants.

En combinant ces différentes stratégies de maintenance et en les adaptant aux besoins spécifiques de l'entreprise, il est possible d'optimiser la gestion des équipements, de réduire les temps d'arrêt, d'améliorer la rentabilité et de garantir un fonctionnement efficace des installations industrielles.

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'importance de la maintenance industrielle dans les systèmes ferroviaires. La compréhension et la mise en œuvre de ces pratiques de maintenance sont essentielles pour soutenir une infrastructure ferroviaire résiliente et fiable, répondant aux besoins croissants de mobilité urbaine.

Chapitre II

Description de l'appareil de dilatation

II.1. Introduction

Les appareils de dilatation, également appelés joints de dilatation, constituent un élément important des voies ferrées. Ils compensent les changements de longueur de piste dus aux changements de température. Sans ces dispositifs, les rails peuvent se déformer et se briser, entraînant potentiellement des déraillements et d'autres accidents graves.

Les appareils de dilatation sont généralement installés tous les 20 à 30 mètres le long de la voie. Ils sont constitués de deux plaques métalliques reliées par un joint flexible. À mesure que la température augmente, les rails se dilatent et les plaques se séparent légèrement. À l'inverse, lorsque la température diminue, les pistes rétrécissent et les plaques se rapprochent. [39]

Dans ce chapitre, nous présentons une description de l'appareil de dilatation et leur rôle dans les voies ferroviaires.

II.2. Définition des appareils de dilatation ferroviaire :

Les dispositifs de dilatation illustrés dans la figure 2-1 sont des composants utilisés dans les voies ferrées pour compenser les variations de température susceptibles d'entraîner des dilatations ou des contractions des rails. Ils sont positionnés entre les rails et les traverses, offrant ainsi la possibilité aux rails de se dilater ou de se contracter sans imposer de contrainte excessive sur les éléments de fixation ou les traverses.

Les appareils de dilatation sont souvent installés sur une série de traverses, généralement sur une distance de cinq traverses. Ils sont souvent conçus pour être remplacés facilement et rapidement lorsqu'ils atteignent leur fin de vie utile. [40]

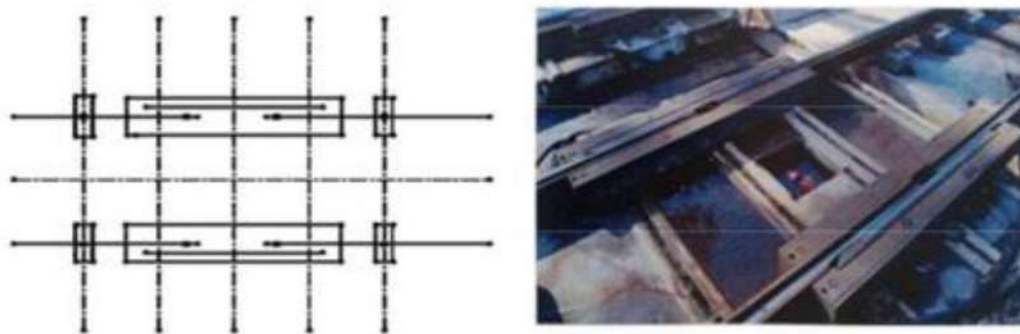


Figure 2-1 : Appareil de dilatation.

La figure 2-2 illustre les appareils de dilatation (AD) sur le pont du tramway de Ouargla, ces dispositifs positionnés aux extrémités des rails et au départ des ponts. Le rôle des dispositifs de dilatation est de faciliter le passage du véhicule ferroviaire sur les ponts et aussi de réduire toutes les contraintes thermiques et mécaniques dues aux conditions environnementales, en climat désertique. [40]



Figure 2-2 : Positionnement des appareils de dilatation sur le pont.

L'installation des appareils de dilatation dans une voie ferrée nécessite de : La longueur de la section de voie ferrée pour choisir le type de l'appareil selon les facteurs tels que la température de la zone, le trafic ferroviaire et les spécifications de la voie. [40]

Il est important de suivre les écarts sur les appareils de dilatation installés sur le pont, afin d'assurer leur bon fonctionnement et de prévenir les dommages potentiels aux rails et aux trains, les écarts à surveiller comprennent. L'écart mesuré représente la distance entre les deux extrémités de l'appareil de dilatation lorsque le rail atteint sa température maximale et sa température minimale. Il est important que l'écart de dilatation soit suffisamment grand pour permettre la dilatation thermique du rail sans provoquer de contraintes excessives. [40]

L'inspection de l'appareil de dilatation aménagé sur l'ouvrage d'art à raison d'une fois par semaine pour la maintenance préventive. Cette fréquence est recommandée par le fabricant. Cette maintenance a pour but de vérifier les points suivants :

- Le fluage du métal.
- L'absence d'éléments bloquants dans le dispositif.
- La mobilité et l'ouverture de l'appareil de dilatation.
- Protection de l'appareil de dilatation.

II.3.Importance de leur maintenance pour le bon fonctionnement des voies ferrées

La maintenance des appareils de dilatation est essentielle pour garantir le bon fonctionnement des voies ferrées. Un entretien régulier permet de s'assurer que les articulations sont flexibles et que les plaques sont en bon état. Si les appareils de dilatation ne sont pas correctement entretenus, ils peuvent se gripper ou se briser, ce qui peut entraîner des problèmes graves. [39]

Les problèmes les plus courants liés aux appareils de dilatation sont les suivants:

-Grippage des articulations: Si les articulations grippent, les rails ne pourront plus se dilater et se contracter librement, ce qui peut entraîner des contraintes excessives sur les rails et les traverses.

-Usure des plaques: Les plaques des appareils de dilatation s'usent avec le temps. Si les plaques sont usées, elles peuvent se briser, ce qui peut entraîner le déraillement des trains.

-Débris dans les articulations: Les débris, tels que les feuilles et les cailloux, peuvent s'accumuler dans les articulations des appareils de dilatation et les empêcher de fonctionner correctement.

La maintenance des appareils de dilatation comprend généralement les tâches suivantes :

-Inspection visuelle: Les appareils de dilatation doivent être inspectés régulièrement pour détecter tout signe d'usure ou de dommage.

-Nettoyage: Les articulations des appareils de dilatation doivent être nettoyées régulièrement pour éliminer les débris.

-Lubrification: Les articulations des appareils de dilatation doivent être lubrifiées régulièrement pour garantir leur bon fonctionnement.

-Serrage des boulons: Les boulons qui fixent les plaques des appareils de dilatation doivent être serrés régulièrement pour s'assurer qu'ils sont bien en place.

En suivant ces procédures de maintenance, on peut s'assurer que les appareils de dilatation fonctionnent correctement et qu'ils contribuent à la sécurité des voies ferrées. [39]

II.4. Objectifs de la maintenance des appareils de dilatation

Les objectifs de la maintenance des dispositifs d'expansion sont de :

- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer la probabilité de pannes pendant le fonctionnement.
- Diminuer les temps d'arrêt lors de révisions ou de pannes.
- Prévenir et anticiper les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre des décisions éclairées concernant la maintenance corrective.
- Éviter les consommations anormales d'énergie et de lubrifiant.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.

Ces objectifs sont cohérents avec les résultats de la recherche, qui soulignent l'importance de la maintenance pour assurer la sécurité, la longévité et l'efficacité des infrastructures ferroviaires. Les activités de maintenance comprennent des inspections régulières, des réglages et des réparations des dispositifs d'expansion, ainsi que la surveillance de leur état et de leurs performances. En adhérant aux normes de maintenance et aux meilleures pratiques, les opérateurs ferroviaires peuvent minimiser les risques d'accidents, réduire les temps d'arrêt et optimiser l'utilisation de leur infrastructure. [41]

Les résultats de la recherche donnent également un aperçu des différents niveaux de maintenance, allant des inspections et ajustements de routine aux réparations et remplacements plus complexes. Ces niveaux de maintenance nécessitent différents niveaux d'expertise et de ressources et sont généralement effectués par du personnel qualifié utilisant des outils et des équipements spécialisés. En mettant en œuvre un programme de maintenance complet, les opérateurs ferroviaires peuvent garantir que leurs dispositifs d'expansion sont toujours en bon état de fonctionnement et qu'ils sont en mesure de fournir un service sûr et fiable à leurs passagers et clients. [41]

En résumé, la maintenance des dispositifs d'expansion est un aspect critique de la gestion de l'infrastructure ferroviaire et est essentielle pour assurer la sécurité, la longévité et l'efficacité du réseau. En suivant les meilleures pratiques et en adhérant aux normes de maintenance, les opérateurs ferroviaires peuvent optimiser les performances de leurs dispositifs d'expansion, réduire les temps d'arrêt et fournir un service sûr et fiable à leurs passagers et clients. [41]

II.5. Types d'appareils de dilatation

Il existe plusieurs types d'appareils de dilatation ferroviaire, notamment : [42. 39]

II.5.1. Appareils de dilatation longitudinale :

Ils permettent au rail de se dilater et de se contracter longitudinalement en réponse aux variations de température. Ces appareils incluent les joints de dilatation et les traverses de dilatation.

II.5.2. Appareils de dilatation transversale :

Ils permettent au rail de se déplacer latéralement en cas de contraintes dues à des variations de température. Les principales options sont les plaques de dilatation et les joints de dilatation transversale.

II.5.3. Appareils de dilatation en biais :

Ces appareils permettent au rail de se dilater à la fois longitudinalement et transversalement. Les systèmes de plaques de dilatation en biais en sont un exemple.

II.5.4. Dispositifs de compensation thermique :

Ils compensent les variations de température en permettant au rail de se dilater sans créer de contraintes excessives. Cela peut inclure des systèmes de fixation spéciaux ou des dispositifs de répartition des charges.

II.5.5. Joints élastiques :

Ces joints utilisent des éléments élastiques pour absorber les mouvements du rail tout en maintenant la continuité électrique et structurelle.

II.5.6. Appareils de dilatation articulés :

Ils permettent au rail de se dilater en utilisant des articulations ou des mécanismes flexibles pour assurer la continuité de la voie.

II.5.7. Appareils de dilatation à rouleaux :

Ils permettent au rail de se déplacer longitudinalement en utilisant des rouleaux pour réduire les contraintes et frottements.

II.5.8. Systèmes de dilatation par friction :

Ces systèmes utilisent la friction pour permettre le mouvement du rail tout en maintenant sa position longitudinale.

II.5.9. Joints expansifs :

Ces joints peuvent s'étendre ou se contracter pour accommoder les variations de température et les mouvements du rail.

Chaque type d'appareil de dilatation est conçu pour répondre à des besoins spécifiques en matière de dilatation et de contraction des rails tout en assurant la sécurité et la stabilité de la voie ferrée.

II.6. Documentation et suivi (appareil de dilatation du tramway Ouargla) fiche technique [43]

II.6.1. Données de base :

Profil de rail à gorge 54G2 selon la norme EN14811

Poids 54.55kg/m

Hauteur 152.5 mm

Largeur de patin 141.5 mm

Gorge 41 mm

Niveau de la file de directrice 14 mm sous le niv. sup. du rail

Rayon courbure de la file directrice 13 mm

Ecartement de voie 1435 mm

Voie posée sur traverse béton du type « HALFEN »

Longueur totale en position centrale 8920 mm

Longueur de compensation 2x+/-50mm

Compensation maximale de variation de longueur du rail de +50 mm et – 50 mm des deux côtés de l'appareil de dilatation.

Selon la norme EN 14811

L'appareil de dilatation (AD) en profil de rail 54G2 à écartement de voie 1435 mm (agissant sur les deux coté). Cette appareil doit être montrer sur une voie posée sur traverse béton du type « HALFEN »

avec sa compensation maximale de variation de longueur du rail de +50 mm et – 50 mm des deux côtés de l'appareil de dilatation.

II.6.2. Principe de fonctionnement :

La mise en œuvre des AD est nécessaire au niveau de certaines discontinuités dans la voie pour permettre des mouvements longitudinaux des rails.

Ces types de dispositifs sont par exemple aménagés sur les ponts, ou les joints fonctionnels aux extrémités des tabliers du pont variant en longueur en fonction des variations de la température.

Les AD « bidirectionnels » sont capables d'absorber les mouvements longitudinaux des deux côtés du dispositif d'AD.

Chaque AD est constitué de deux demi-appareil de dilatation et de 5 traverses en béton.

Chaque partie est constituée d'un rail central « rail de transfert » et deux rails coulissants « les lames d'aiguille », de part et d'autre de la partie centrale.

Le « rail de transfert » central et les points des deux lames d'aiguille sont logés dans un caisson central en aciers soudés.

Le rail central « rail de transfert » est constitué d'un rail spécialement usiné et fixé sur le selle d'embase continue du caisson.

Les lames d'aiguille sont fabriquées en rail à gorge, elles coulisent librement vers l'avant et l'arrière dans le sens longitudinal du rail de transfert, en fonction des mouvements longitudinaux des rails encadrant les deux extrémités de l'AD dus aux deux variations des températures.

Les mouvements peuvent être symétriques ou asymétriques des deux côtés.

A défaut de mouvement sur l'un des deux côtés, l'AD bidirectionnel agit comme un AD unidimensionnel.

II.6.3. Critère de conception :

Dessin VAE 135666-000-00 AD en position « neutre », longueur totale 8920 mm.

Le dessin montre un AD installé symétriquement sur 5 traverses.

La « position neutre » du joint au niveau de la file directrice est indiquée pour « la température neutre » pour les ouvertures des joints du pont, ainsi que pour les positions de deux lames d'aiguille. La « température neutre » est la température moyenne calculée sur une période d'un an.

Les positions longitudinales extrêmes sont des limites théoriques, susceptibles de ne pas être atteintes en pratique.

Les lames d'aiguille et les rails centraux « rail de transfert » sont usinées, à peu près la moitié du champignon de rail est enlevée pour des raisons de conception.

Le bon contact entre le rail de transfert et la lame d'aiguille est assuré par boulonnage spécifique avec rondelle grower.

Les lames d'aiguille ne sont pas munies de perforation aux extrémités.

Les selles d'aiguille de glissement reposent sur une platine d'embase de glissement dure et continue qui n'a pas besoin d'être lubrifiée, les zones de glissement étant protégées contre les poussières, la contamination, la glace et la neige par le caisson central en aciers.

Les selles de fixation à l'aide d'attaches « rails libres » (qui guident les rails sans les fixer), disposées des deux côtés du caisson central en aciers sont également sans lubrification.

Pour permettre un certain ajustage en hauteur et aux fins d'isolation, des semelles de rail sonothèques (d'une épaisseur de 6mm et de 3mm) sont mises en place le caisson en acier, les selles de fixation et les travers en béton.

Le caisson de l'AD ainsi que les selles de fixation sont fixé sur les traverses HALEFN à l'aide de tirefonds spéciaux M22.

II.6.4 matériaux :

Lames d'aiguille en acier de rail traité thermiquement R290GHT conformément à la norme EN14811,

Rail de transfert en acier de rail à champignon trempé R350HT conformément à la norme EN13674-1,

Caisson central et selles d'embase en R235JR conformément à la norme EN 10025,

Plaques de glissement d'une dureté de 360-440 HB, sans lubrification.

II.6.5. instructions d'installation des appareils de dilatation (AD) :

SE REFER EGLEMENT AU DESSIN N° VAE 135666-000-00

II.6.5.1. pré-assemblage, inspection après l'arrivée sur site et manutention :

Chaque AD est constitué de deux demi-appareils de dilatation identique, qui ont été pré-assemblage à l'usure de fabrication.

Au cours de la réception en usine, les dimensions, les matériaux, la qualité de production et le bon fonctionnement (mouvement des lames d'aiguille jusqu'aux limites) ont été vérifiés.

Les appareils de dilatation sont livrés sous forme d'unités assemblées (fixées sur une platine d'embase).

Contrôler les AD quant aux endommagement de transport éventuel dès leur arrivée sur le chantier.

Manutentionner et stocker les AD selon les réglages de l'art pour prévenir toute déformation horizontale et/ ou verticale.

Veille à les protéger contre les poussières et la contamination.

II.6.5.2. travaux préparatoires, d'installation et réglage :

Préparer le site de mise en œuvre de l'AD en vue des aspects suivants :

Nivellement horizontal et vertical, ce qui signifie :

Après la mise en place des sous-couches, travers, selles de rail, fourrures synthétique etc. (préparées conformément au système de pose de voie), procéder à la mise à niveau en profil et en plan de la voie de l'AD.

Position correcte de l'AD par rapport aux joints du tablier du pont :

La section de voie prévue pour l'intégration de l'AD doit présenter une longueur d'environ 10000mm.

Les deux caissons de l'AD aménagés dans la partie centrale de l'AD ont une longueur de 2000mm, ce qui représente la longueur minimum requise pour la mise en œuvre de la partie centrale.

Le dessin montre l'AD installé de façon symétrique sur 5 traverses.

Se référer au schéma n°1 :

Exemple d'installation en cas de deux joints mobiles

Les joints variables du pont (l'ouverture du joint varie en fonction de la température et d'autres circonstances) peuvent être situés des deux côtés des selles d'embase continues.

L'AD agit de façon « BIDIRECTIONNELLE » si l'AD est installé en zones de pont à 2 joints variables.

Se référer au schéma n°2 :

Exemple d'installation en cas d'un seul joint mobile

L'AD peut également être installé dans une zone de pont à un seul joint variable.

Dans ce cas, l'AD agissant sur un seul côté et dit « UNIDIRECTIONNEL » :

Se référer au schéma n°3 :

Position longitudinales des lames d'aiguille

L'ouverture réelle des joints variables du tablier du pont est fonction de la température réelle.

Pour une installation correcte de l'AD, l'ouverture réelle des joints variable du pont doit être comparé à l'ouverture du joint du pont à la « température neutre ».

Si l'ouverture réelle du joint au moment de l'installation de l'AD est supérieure de joint à la « température neutre » ($\Delta_{\text{joint}} = \text{joint neutre} + X \text{ mm}$), les lames d'aiguille de l'AD doivent être sortie de X mm de la partie centrale de l'AD au moment de l'installation.

Si l'ouverture réelle du joint au moment de l'installation de l'AD est inférieure au joint à la « température neutre » ($\Delta_{\text{joint}} = \text{joint neutre} - X \text{ mm}$), les lames d'aiguille de l'AD doivent être rentrées de X mm dans la partie centrale de l'AD au moment de l'installation.

Le point central de l'AD est indiqué au centre du « rail de transfert » par un coup de pointeau.

Les deux lames d'aiguille sont munies d'un coup de pointeau situé à 440mm des pointes des aiguilles, ce qui veut dire qu'à la température neutre, la distance entre les coups de pointeau sur les lames d'aiguille est de 1000mm (la distance entre les points d'aiguille étant de 120mm dans ce cas).

Cette procédure (d'ajustage de la position longitudinale des lames d'aiguille par rapport aux ouvertures réelles des joints de pont) doit être effectuée des deux côtés de l'AD absorbant des joints variable.

Se référer au schéma n°4 :

Remarque concernant le joint nominal et les mouvements attendus pour différentes applications :

Le dessin montre l'utilisation maximale de la course de cet AD, c'est -à-dire 2 fois +/-50mm.

Dans ce cas, le joint sera de :

20 mm au minimum.

120 mm en position neutre.

220 mm au maximum.

Cette situation figure sur le dessin (détail « situation lors du montage sur site »).

Lorsque des mouvements inférieurs sont attendus, il faut en tenir compte au moment de l'installation pour réduire le joint au minimum.

Le joint minimum de 20 mm doit être respecté dans tous les cas, et la position nominale doit être ajustée aux besoins des exigences spécifiques.

II.7. conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'importance de la maintenance industrielle dans les systèmes ferroviaires. Nous avons souligné que la maintenance régulière et proactive des appareils de dilatation est indispensable pour garantir la sécurité et la durabilité des ponts ferroviaires. En explorant les défis, les meilleures pratiques et les avancées technologiques dans ce domaine, nous avons démontré que des programmes de maintenance bien structurés et exécutés peuvent significativement réduire les risques de défaillances structurelles et améliorer la performance globale du réseau de tramway.

Chapitre III

Description le site du tramway et la méthode de mesure

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous faisons une description de l'appareil de dilatation du rail de tramway de Ouargla. Nous présentons quelques notions de base sur le système roue-rail, suivies d'une présentation des différentes méthodes d'application de la maintenance et des divers problèmes rencontrés sur le site du tramway. L'investigation directe du site de la ligne de tramway de Ouargla a pour objectif de définir l'importance de suivre l'état de l'appareil de dilatation du rail.

III.2. La maintenance de l'appareil de dilatation

La maintenance des appareils de dilatation est essentielle pour assurer la sécurité, la durabilité et la fiabilité des systèmes ferroviaires, avec une attention particulière portée au cas spécifique du tramway. Cette démarche vise à assurer le bon fonctionnement, la sécurité et la pérennité des systèmes ferroviaires. En effet, la maintenance des appareils de dilatation dans la société de SETRAM elle passe par plusieurs étapes appelées protocole de maintenance, c'est ses étapes sont les suivantes :

- Nettoyage approfondi de l'appareil de dilatation
- Contrôler les bavures et défauts ondulatoire sur le rail au niveau de l'appareil de dilatation
- Contrôler les rails et les surfaces de roulement quant aux fissurations du champignon de rail
- Vérifier l'absence d'usure des appareils de dilatation
- Contrôler le bon serrage des vis et boulons de fixation
- Vérification de la tolérance de l'écartement de la voie 1435 mm
- Vérifier que le sur-écartement de la voie sur les zones de transfert de l'AD ne dépasse pas 7mm
- Contrôler l'ouverture de l'appareil de dilatation
- Vérifier les côtes de glissement

III.3. Méthodes de mesure utilisées pour évaluer les performances du tramway

Des mesures expérimentales ont été effectuées sur un site de tramway dans la ville de Ouargla en Algérie en mesurant l'écart entre les rails sur un AD ferroviaire pour six mois. L'influence de la déformation du pont ferroviaire sur les changements de géométrie

de la piste ont été évalués. Ces dilatations sont dues à la pression de la roue sur le rail dans l'AD, outre la circulation de deux véhicules en sens inverse aux extrémités du pont, et aussi la variation de température en zone désertique notamment pendant la période estivale. L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence des charges et des variations de températures sur là AD et contraction du pont ferroviaire en présence d'un appareil de dilatation ferroviaire AD. [43]

La figure 3-1 montre la procédure de suivi et de mesure l'écart sur l'appareil de dilatation dans le pont du tramway Ouargla pendant six mois.



Figure 3-1 : Mesurez l'écart et le joint du pont.

La figure 3-2 montre les mesures de température prises à différents moments et endroits sur les rails pour calculer la contrainte thermique.



Figure 3-2 : Température du rail sous le soleil dans des différents moments.

III.4. Conception et planification

La température et les forces thermiques jouent un rôle important et comme la région est désertique et sèche toute l'année, pour cela nous choisissons de mesurer cette température pendant l'été ; parce qu'elle atteint 65 °C sous le soleil à midi comme indiqué dans le tableau 2, quatre jours sont choisis pour chaque mois car la température reste élevée tout au long du mois et reste constante et ne change pas de manière significative jusqu'à ce que les jours passent. La figure 3-3 montre la variation de température au cours de l'année 2021 (cité Ouargla).

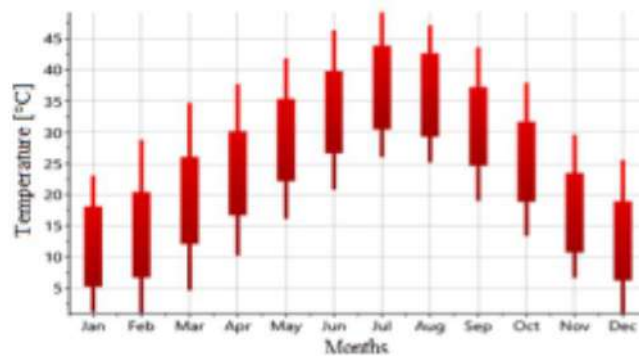


Figure 3-3 : Variation de température au cours de l'année 2021 (Ouargla)

III.4.1 Le pont :

La Fig.3-4 donne un aperçu de la section du tablier (constante le long de ce dernier) ainsi qu'une section typique du pont tramway de Ouargla. Également sur ce pont (sur le rail) il y a quatre (04) dispositifs d'expansion (chaque voie possède un deux dispositif). La largeur d'un pont est de 40 m et ces sections droites sont toutes rectangulaires. Bien qu'à inertie constante, la section transversale du tablier est constituée d'une dalle nervurée à 7 nervures par arceau. Compte tenu de la position de la nervure de l'arc, du renfort latéral, de la bretelle, de la poutre, du pilier et de la voie.

Le modèle d'interaction entre un pont continu à arc lié et des voies multiples a été développé à l'aide d'un composite acier-béton.

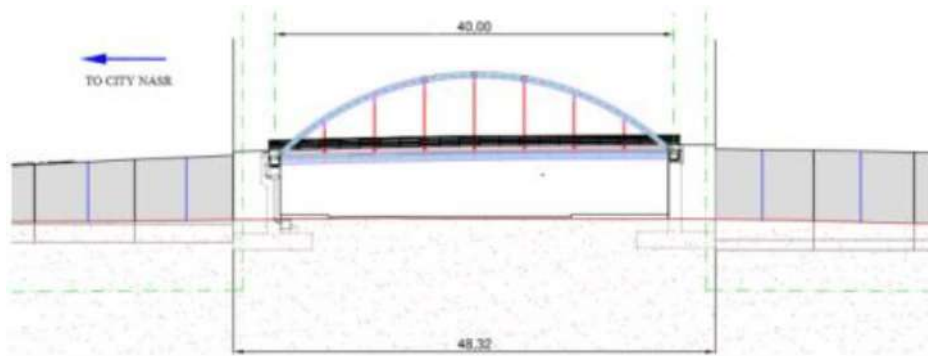


Figure 3-4 : Structure d'un pont ferroviaire [43].

La relation entre le pont ferroviaire et les rails est définie par les différentes charges appliquées. Parmi ces contraintes figurent les contraintes d'expansion et de contraction. Cette déformation est également induite par les températures, les forces de freinage et de résistance et la flexion verticale en combinaison. En raison de l'augmentation des vitesses et du poids par essieu, les ponts ferroviaires d'aujourd'hui sont scrutés de plus en plus pour détecter les charges en mouvement et puis, il faut assurer la sécurité des trains et éviter les accidents. Les ponts ferroviaires modernes ont également des formes plus minces et une dissipation d'énergie (amortissement) moindre grâce à une construction et une conception améliorées procédures. Ainsi, des évaluations approfondies de la réponse dynamique du pont au passage des trains sont essentielles pour garantir la durée de vie projetée et l'évaluation économique.

La Fig.3-5 illustre les culées utilisées sur le pont. Ces culées sont mécaniquement stabilisées pour soutenir la travée ainsi que pour servir de murs de soutènement pour empêcher le remblai de terre des abords du pont de bouger.

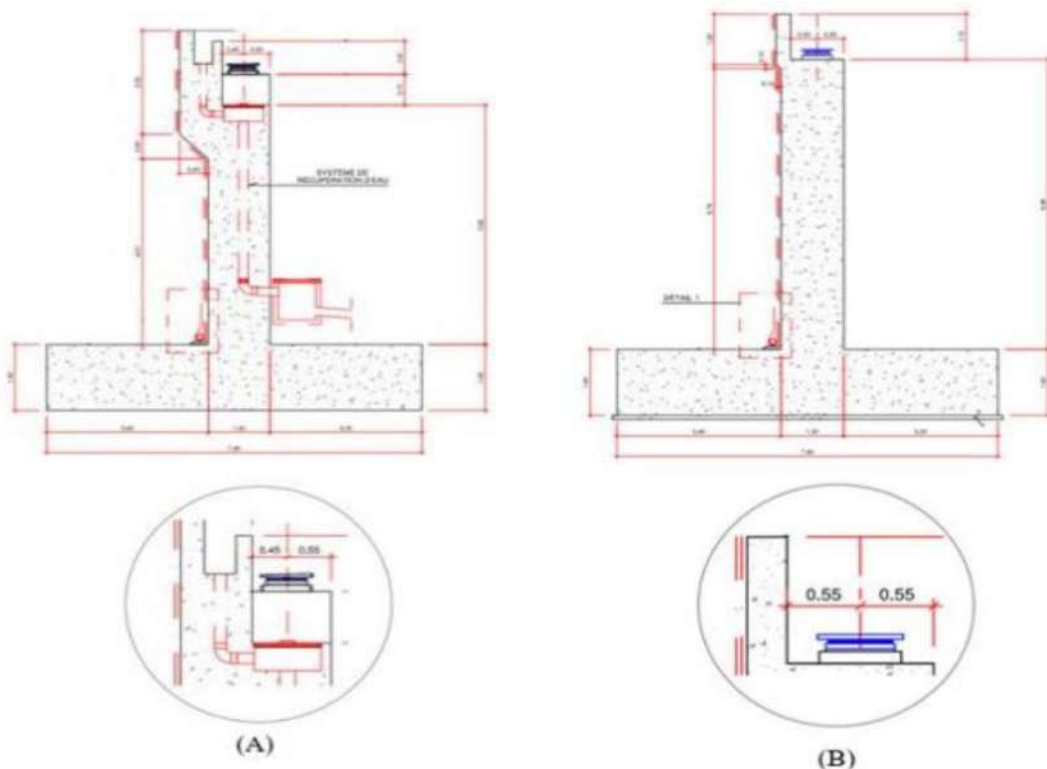


Figure 3-5 : Les culées des ponts (A) et (B)

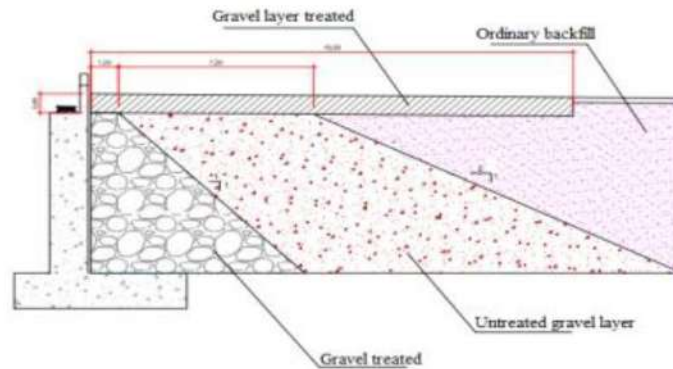


Figure 3-6 : Piliers stabilisés mécaniquement fixés par remblai renforcé [43]

Les charges des culées imposent des besoins de renforcement supplémentaires, en particulier dans la partie supérieure du remblai, qui supporte l'essentiel des charges du pont. En raison de leur capacité à résister à de grandes déformations, les culées stabilisées mécaniquement constituent souvent une option plus rentable que les fondations profondes ou l'assainissement des sols de fondations meubles.

III.5. Présentation des résultats obtenus lors du suivi de la maintenance des appareils de dilatation

Les mesures de l'écart entre les extrémités du rail dans DER sur le pont ferroviaire, ont été reprises une période de six (06) mois pour deux périodes différentes car la ville Ouargla se caractérise par un climat désertique semi-aride ; pour cela nous nous sommes concentrés sur la période estivale.

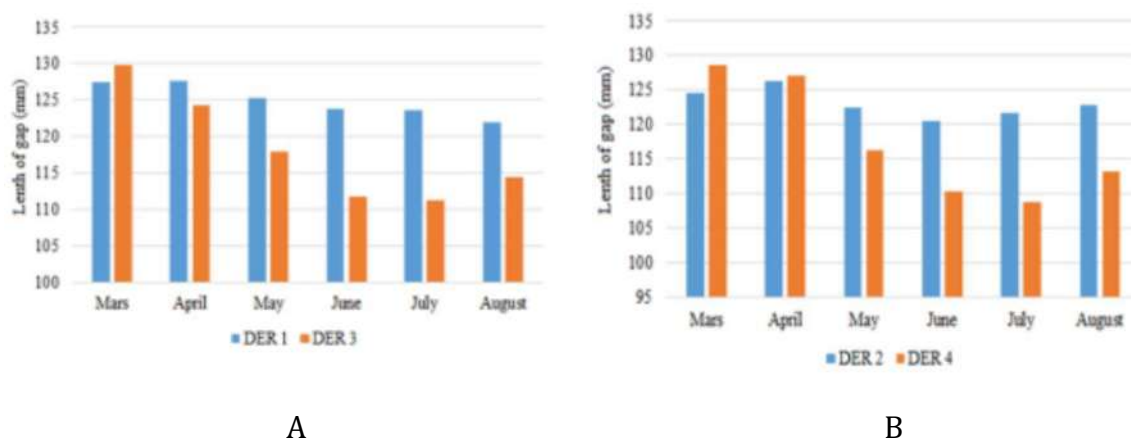


Figure 3-7 : La longueur de l'écart entre les rails en DER sur pont ferroviaire : (A) rail1 (B) rail2.

Les résultats des différents écarts pour les quatre (04) Rails de Dispositifs d'Expansion (EDR) illustrés dans la Fig.3-7 font remarquer que l'écart change en fonction de la charge et de la température, des changements ont été observés dans les périodes Avril/Mai et Juillet. / Août, cela est dû aux charges et aux températures.

Cette variation de l'écart en fonction des différentes charges et températures se traduit par des déplacements/déformations au niveau du rail et du pont.

Aussi il a été observé que la longueur de l'interstice n'est pas la même pour les quatre dispositifs comme le montre la figure 3-7. Cette différence est due à plusieurs facteurs, notamment aux forces de serrage du rail sur le pont, ainsi qu'aux mouvements du véhicule dans les deux voies.

Les résultats de la mesure d'inspection des interstices sur le chantier du tramway Figure 3-7, ont été utilisés pour calculer les déformations/déplacements des rails en calculant l'allongement de chaque rail par longueur des interstices Équation (3) en DER.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (1)$$

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \quad (2)$$

$$\Delta L_i = G P_{line1} G P_{line2} \quad (3)$$

$$\sigma = N / A \quad (4)$$

Où:

N : ce sont les forces appliquées à la surface du rail, et

A : c'est la surface du type de rail (contact roulant) ce rail est du 54G2 avec $A=69,49 \text{ cm}^2$ [43]

Pour estimer les déformations sur les rails, il faut calculer la longueur du joint par l'équation (5) dont les résultats sont illustrés dans le tableau 3 :

$$J = J1 + (J2 - J1) \quad (5)$$

Où:

J : Longueur du joint

De plus, les conditions du climat désertique de la ville de Ouargla ont un impact significatif sur l'expansion des chemins de fer et des ponts en particulier pendant la période estivale, cette température atteint 70°C le jour et descend à 40°C la nuit. Les résultats de la mesure de la température sont présentés dans le tableau 2. Les contraintes thermiques représentées dans la Figure3-8 ont été calculés à l'aide de l'équation (6) et de l'équation (7). Nous avons calculé les contraintes thermiques pour trois périodes différentes, le matin, midi et nuit. Les contraintes maximales (65 MPa) se retrouvent à midi où la température est d'environ 70°C .

$$\sigma_T = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (6)$$

$$\Delta T = T_{Ambient} - T_{Rail} \quad (7)$$

	Length of gaps				Length of Joint	
	Rail 1		Rail 2			
	DER 1	DER 3	DER 2	DER 4	Joint 01	Joint 02
Mars	127.50	129.83	124.66	128.64	127.11	129.64
April	127.69	124.33	126.28	127.04	130.50	131.65
May	125.33	117.92	122.40	116.34	128.97	130.62
June	123.85	111.85	120.60	110.23	125.79	130.17
July	123.57	111.31	121.69	108.70	123.07	130.32
August	122.01	114.39	122.88	113.29	124.20	131.50

Tableau 3-1 : Tableau (1) Résultats des déformations/déplacements sur DER

	07h 00			12h 00		21h 00	
Months	Days	Tambient	Trail	Tambient	Trail	Tambient	Trail
June	Day1	38.2	41	45	50.1	45	36.7
	Day2	45	46.6	45	63.8	45	40.6
	Day3	39	47.7	45	61.9	42	39.7
	Day4	37	37.4	41	56.8	42	40.7
July	Day1	39	49	45	63	37	39.5
	Day2	40	47	49	67.6	39	37.5
	Day3	37	38.6	46	65.8	46	45.5
	Day4	40	41.1	45	68.2	45	45.1
August	Day1	32	32.4	42	63.7	38	38.3
	Day2	31	31.4	42	65	38	39.5
	Day3	28	31.8	42	66.4	36	37.8
	Day4	30	31.4	42	62.9	36	36.6

Tableau 3-2 : Tableau (2) Mesure de la température sur les rails pendant la période estivale.

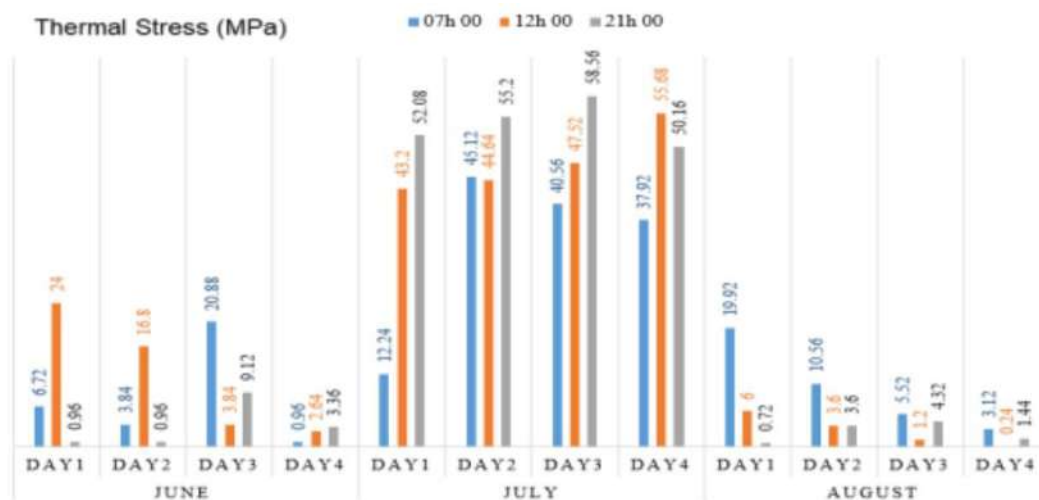


Figure 3-8 : Répartition des contraintes thermiques sur le rail (MPa) à 7h00, 12h00 et 21h00

La Fig.3-8 montre l'évolution des contraintes thermiques sur trois mois (juin, juillet et août). Des changements ont été observés à différentes périodes d'une même journée, ainsi qu'à différents jours d'un même mois. Mais la différence la plus importante a été constatée au cours des différents mois, lorsque le stress thermique atteint sa valeur maximale en juillet.

III.6. Comparaison des performances avant et après la maintenance

Pour comparer les performances avant et après maintenance du dispositif a joint de dilatation dans une voie ferrée, il est essentiel d'évaluer l'impact de la maintenance sur la fonctionnalité et l'efficacité du dispositif. La maintenance de l'infrastructure ferroviaire joue un rôle crucial pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité opérationnelle.

Les sources fournies offrent un aperçu des pratiques de maintenance ferroviaire et de l'importance de la maintenance préventive pour éviter des dysfonctionnements majeurs. Ils discutent des avantages de la maintenance, tels que l'augmentation de la durée de vie des équipements, la réduction des temps d'arrêt, la prévention d'une maintenance corrective coûteuse, l'amélioration de la sécurité, de la productivité et la réduction de la consommation d'énergie.

L'analyse des performances avant et après la maintenance du dispositif à joint de dilatation impliquerait d'évaluer des facteurs tels que l'intégrité structurelle, l'alignement, la fonctionnalité et l'état général du dispositif. En comparant les données sur les performances de l'appareil avant et après maintenance, on peut évaluer toute amélioration de son fonctionnement, de sa durabilité et de sa sécurité.

En conclusion, un examen détaillé du processus de maintenance et de son impact sur le dispositif de joint de dilatation d'une voie ferrée est crucial pour déterminer l'efficacité des activités de maintenance et garantir la performance optimale de l'infrastructure ferroviaire.

III.7. Analyse des risques

- Identification des principaux risques liés à la défaillance des appareils de dilatation et évaluation de leur impact sur la sécurité et l'exploitation du réseau ferroviaire.
- Mise en place de mesures préventives pour réduire les risques et améliorer la résilience du système.
- Procédures à suivre en cas de défaillance majeure.
- Plans d'intervention d'urgence pour minimiser les perturbations du service.

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, une étude de déplacement/déformation des rails sur le pont ferroviaire en zone saharienne du tramway de Ouargla a été présenté. Une technique a été utilisées : expérimentale utilisant la mesure de l'écartement entre rails dans le dispositif de dilatation du rail (DDR).

Chapitre IV

Notion de sécurité

IV.1. Introduction :

La maintenance et la sécurité industrielles sont cruciales pour garantir le bon fonctionnement des installations industrielles, garantir la sécurité des travailleurs et protéger l'environnement.

Ce chapitre traite des résultats de la mise en œuvre de diverses méthodes d'amélioration et techniques d'optimisation dans la maintenance industrielle.

IV.2. Diagramme de sécurité :

Ils englobent une série de pratiques et de procédures visant à maintenir les machines, les équipements et les infrastructures en bon état, à prévenir les accidents du travail et à minimiser les risques liés aux activités industrielles, à assurer la continuité de la production en maintenant les machines et les équipements en bon état, à réduire les temps d'arrêt imprévus et à optimiser la production. , Prévenir les accidents du travail en mettant en œuvre des mesures de sécurité adéquates et en formant les travailleurs aux procédures de sécurité réduit considérablement les risques d'accidents et de blessures, Protéger l'environnement en adoptant des pratiques respectueuses de l'environnement limite les émissions polluantes et les risques de contamination, Réduire les coûts Un bon entretien et une culture de sécurité contribuent réduire les coûts liés aux réparations, aux accidents du travail et aux dommages environnementaux.

Inspections régulières Des inspections périodiques des machines, équipements et infrastructures permettent de détecter d'éventuelles pannes et de prendre des mesures préventives,

Maintenance préventive Les interventions de maintenance régulières, telles que la lubrification, le réglage et le remplacement des pièces usées, contribuent à prolonger la durée de vie des équipements et à réduire les risques de pannes. Une maintenance corrective en cas de panne, une maintenance corrective rapide et efficace est nécessaire pour minimiser les temps d'arrêt et remettre les machines en service en toute sécurité, les travailleurs formés à la sécurité doivent être formés aux procédures de sécurité spécifiques à leur poste de travail et aux risques potentiels liés à leurs activités, Mise en place de protections Des protections adéquates, telles que des barrières de sécurité, des verrouillages et des équipements de protection individuelle, doivent être en place pour protéger les travailleurs des risques potentiels,

Gestion des produits chimiques dangereux, des substances dangereuses et des déchets industriels doivent être manipulés, stockés et éliminés conformément aux réglementations applicables, aux plans d'urgence. Des plans d'urgence doivent être élaborés

et testés régulièrement pour faire face aux situations d'urgence, telles que les incendies, les explosions ou les fuites de produits dangereux, des produits.

L'industrie est soumise à un ensemble de normes et réglementations en matière de maintenance et de sécurité. Ces normes visent à garantir la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et le bon fonctionnement des installations industrielles,

Organisations de sécurité, de nombreuses organisations internationales et nationales existent pour promouvoir la maintenance et la sécurité industrielles. Ces organisations fournissent des lignes directrices, des formations et des ressources pour aider les entreprises à améliorer leurs pratiques de sécurité.

IV.3. Santé et sécurité au travail :

La santé et la sécurité au travail (SST) sont un domaine concerné par la sécurité, la santé et le bien-être des personnes au travail. Elle vise à prévenir les blessures et les maladies liées au travail en identifiant et en atténuant les dangers sur le lieu de travail. La SST est essentielle pour protéger le bien-être physique et mental des travailleurs, réduire la souffrance humaine et minimiser les coûts économiques associés aux accidents et maladies du travail, tant pour les employeurs que pour les employés. Ont un rôle à jouer en matière de SST, les employeurs sont légalement tenus d'offrir un environnement de travail sécuritaire et de mettre en œuvre des mesures préventives. Les employés sont responsables de suivre les protocoles de sécurité et d'utiliser l'équipement de protection individuelle (EPI) lorsque cela est nécessaire. [46]

IV.4. Revues de sécurité

Les magazines de sécurité sont des publications axées sur les questions de sécurité et de santé au travail (SST). Ils fournissent des informations et des conseils pour aider les travailleurs, les employeurs et les professionnels de la sécurité à se tenir au courant des dernières réglementations, meilleures pratiques et technologies pour prévenir les accidents et les maladies au travail.

Voici quelques-uns des sujets généralement abordés dans les magazines de sécurité :

- Identification des dangers et évaluation des risques
- Stratégies de prévention des accidents
- Pratiques de travail sécuritaires
- Équipement de protection individuelle (EPI)
- Ergonomie
- Hygiène industrielle
- Préparation et réponse aux situations d'urgence
- Réglementations et normes
- Nouvelles technologies de sécurité
- Études de cas d'accidents et de maladies du travail
- Conseils de formation en matière de sécurité

IV.5. Protection des équipements

IV.5.1. Inventaire de l'équipement et des outils :

Tenir un inventaire détaillé de tous les équipements et outils de l'atelier. Cela inclut l'enregistrement d'informations telles que le type, le modèle, l'état, l'état d'étalonnage et l'emplacement de stockage désigné. La protection des équipements fait référence aux stratégies et pratiques utilisées pour protéger les machines, les outils et autres équipements industriels contre les dommages, l'usure et les déchirures. En mettant en œuvre des mesures efficaces de protection des équipements, les ateliers et les installations industrielles peuvent obtenir plusieurs avantages,

IV.5.2. Lubrification

L'utilisation de lubrifiants appropriés et le respect de programmes de lubrification appropriés minimisent la friction et l'usure des pièces mobiles, garantissant ainsi un fonctionnement fluide et prolongeant la durée de vie de l'équipement.

IV.5.3. Contrôles environnementaux :

Des facteurs de contrôle tels que la température, l'humidité et la poussière peuvent avoir un impact significatif sur la longévité des équipements. Des techniques telles que la ventilation, la climatisation et un stockage approprié peuvent créer un environnement plus favorable.

IV.5.4. Combinaisons de travail

L'objectif principal des vêtements de protection individuelle (CPP) est de protéger les travailleurs contre les risques physiques, mécaniques, chimiques et autres, ce qui implique leur conformité obligatoire dans de nombreux cas.^{1,2} Les dangers sur le lieu de travail peuvent aller d'une exposition de faible niveau à des risques, tels que dans certaines activités minières, pétrolières et gazières, ainsi que dans le bâtiment et la construction, à une exposition à haut risque, comme dans le cadre de la lutte contre les incendies, de l'exposition militaire et à des arcs électriques de haut niveau.¹ La performance des vêtements de protection individuelle est couverte par de nombreuses normes qui spécifient les attributs des matériaux et des vêtements. Requis pour les lieux de travail industriels, tels que la lutte contre les incendies³, le travail des métaux en fusion⁴, les travaux électriques¹, la chaleur et les flammes⁵, la visibilité de jour et de nuit⁶ et la protection contre l'exposition aux ultraviolets (UV)⁷, pour n'en nommer que quelques-uns. Ces normes détaillent un large éventail d'exigences de performance des matériaux pour la protection contre des dangers spécifiés. [47]



Figure 4-1 : Combinaisons de travail

IV.5.5. Équipement de protection auditive sur le lieu de travail

Les personnes doivent porter une protection auditive si le bruit ou le niveau sonore auquel elles sont exposées est que les protections réduisent le niveau d'exposition au bruit et le risque de perte auditive lorsqu'elles sont portées correctement.

Si une protection auditive est nécessaire, un programme complet de conservation auditive doit être mis en œuvre. Un programme de conservation de l'audition comprend une évaluation du bruit, des méthodes pour contrôle du bruit, sélection des protections auditives, formation et éducation des employés, tests audiométriques, maintenance, inspection, tenue de dossiers et évaluation des programmes.

L'efficacité de la protection auditive est considérablement réduite si les protections auditives ne sont pas correctement ajustées, ne sont pas insérées ou portées correctement, si elles ne sont portées que périodiquement ou si elles sont retirées même pour une courte période. Pour conserver leur efficacité, les protections auditives ne doivent pas être modifiées. Les écouteurs ou casques musicaux ne remplacent pas les protections auditives et ne doivent pas être portés là où des protections auditives sont nécessaires pour se protéger contre exposition au bruit. [48]



Figure 4-2 : Équipement de protection auditive

IV.5.6. Le casque utilisé dans l'industrie

L'OSHA réglemente la protection de la tête pour l'industrie générale, la construction et le secteur maritime et exige que les employeurs veillent à ce que les travailleurs concernés portent une protection de la tête appropriée. Ce bulletin d'information sur la sécurité et la santé (SHIB) fournit des informations aux employeurs et aux employés lors de la sélection des EPI pour la protection de la tête. Ce SHIB fournit également des instructions pour inspecter et stocker correctement la protection de la tête. Avec une compréhension approfondie des avantages et des capacités des options de protection de la tête, les employeurs et les travailleurs peuvent prendre des décisions éclairées sur la sélection et l'utilisation. [49]



Figure 4-3 : Casque

IV.5.7. Chaussures utilisées dans l'industrie

Les chaussures de protection portées sur le lieu de travail sont conçues pour protéger le pied des risques physiques tels que les chutes d'objets, le fait de marcher sur des objets pointus, la chaleur et le froid, les surfaces humides et glissantes et l'exposition à des produits chimiques corrosifs. En tant qu'utilisateur, vous devez connaître les risques sur votre lieu de travail et, lors du choix des chaussures, tenir compte des risques pour la sécurité dans votre zone de travail. Cela vous aidera à sélectionner les bonnes chaussures de protection

Lors de l'achat de nouvelles chaussures de protection, il est important d'obtenir le bon ajustement et le bon confort afin qu'elles ne provoquent pas de callosités, d'ongles poussés ou simplement de pieds fatigués qui sont courants chez les travailleurs qui passent la plupart de leur temps de travail debout ou qui marchent beaucoup. . Même si celles-ci ne peuvent pas être considérées comme des accidents du travail, elles peuvent avoir de graves conséquences sur la santé et la sécurité au travail. Ils peuvent provoquer de l'inconfort, de la douleur et de la fatigue. La fatigue peut causer des blessures au travailleur affectant les muscles et les articulations. De plus, un travailleur fatigué et souffrant est moins alerte et plus susceptible d'agir de manière dangereuse, ce qui peut provoquer un accident.

Avant de porter de nouvelles chaussures ou bottes au travail, portez-les à la maison jusqu'à ce que vous soyez sûr qu'elles vous conviennent. Gardez-les propres jusqu'à ce qu'il soit décidé que vous les gardez, de cette façon, il ne devrait pas y avoir de problème pour les échanger contre une taille différente.



Figure 4-4 : Chaussure de protection

IV.5.8. Moyens de prévenir les risques électriques

L'électricité qui fait fonctionner les équipements et les machines peut être dangereuse, surtout si elle n'est pas soigneusement contrôlée lors de la maintenance et de l'entretien. L'OSHA a établi des procédures spécifiques pour se protéger contre les chocs électriques accidentels (verrouillage/étiquetage) ainsi que pour un arrêt en toute sécurité, la libération de l'énergie mécanique stockée et le démarrage de l'équipement. OSHA également nécessite une formation périodique des employés sur ces procédures. [50]

IV.6. Protection de l'environnement

IV.6.1. Gestion des déchets :

Suivre les procédures appropriées pour la manipulation et l'élimination des déchets générés sur le lieu de travail. Cela comprend le tri des déchets selon leur type (recyclables, dangereux, etc.) et l'utilisation de poubelles désignées pour la collecte.

IV.6.2. Manipulation des produits chimiques :

Si vous travaillez avec des produits chimiques dangereux, suivez toujours les fiches de données de sécurité (FDS) du fabricant pour connaître les procédures appropriées de manipulation, de stockage et d'élimination. Portez un EPI approprié et utilisez des systèmes de ventilation désignés lors de la manipulation de produits chimiques.

IV.6.3. Qualité de l'air :

Soyez conscient des problèmes potentiels de qualité de l'air dans votre environnement de travail. Signalez toute préoccupation concernant la poussière, les fumées ou d'autres contaminants en suspension dans l'air à votre superviseur.

IV.6.4. Contrôle du bruit :

Si vous êtes exposé à des bruits forts, portez une protection auditive si nécessaire.

IV.6.5. Conservation de l'énergie :

Éteignez les lumières, les équipements et les machines lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Utilisez la lumière naturelle autant que possible. Aidez à économiser l'énergie et à réduire l'impact environnemental de votre lieu de travail.

IV.7. Conclusion

Ce chapitre a montré que la sécurité industrielle est cruciale pour protéger la santé et la vie des travailleurs, en garantissant le respect de la loi. Cela apporte également des avantages économiques en réduisant les temps d'arrêt et les coûts liés aux accidents, tout en améliorant le moral et la fidélisation des employés. Les entreprises ayant de solides antécédents en matière de sécurité acquièrent une meilleure réputation et gagnent la confiance des parties prenantes. Par conséquent, investir dans la sécurité industrielle est essentiel pour des opérations efficaces, éthiques et durables.

Conclusion générale

En conclusion, les ponts ferroviaires jouent un rôle crucial dans l'infrastructure de transport, en assurant le passage sûr et efficace des trains, y compris des tramways, au-dessus des obstacles naturels et artificiels. Leur bon fonctionnement repose sur divers composants techniques, parmi lesquels les appareils de dilatation occupent une importance particulière. Ces dispositifs absorbent les mouvements causés par les variations de température, les charges dynamiques et d'autres facteurs environnementaux, garantissant ainsi la continuité de la voie ferrée et minimisant les risques de fissures ou de défaillances structurelles.

La maintenance régulière et rigoureuse des appareils de dilatation est cruciale pour assurer la longévité et la sécurité des ponts ferroviaires. Cela est particulièrement vrai pour les tramways, dont les réseaux urbains et la fréquence élevée des passages imposent des exigences accrues en termes de sécurité et de fiabilité. Une maintenance efficace permet de détecter les signes de vieillissement ou d'usure prématurée, d'anticiper les réparations nécessaires et de prévenir les accidents potentiels, évitant ainsi des défaillances graves qui pourraient affecter la structure des ponts, la sécurité des passagers et la fluidité du trafic ferroviaire.

La maintenance et la surveillance de la température des appareils de dilatation du rail de tramway revêtent une importance capitale pour assurer la sécurité, la fiabilité et la durabilité des systèmes ferroviaires, notamment dans des environnements difficiles tels que celui de Ouargla.

Des méthodes de mesure ont été utilisées pour évaluer les performances du tramway, en particulier en ce qui concerne l'écartement des rails et les contraintes thermiques induites par les variations de température. Les résultats de ces mesures ont permis de mieux comprendre l'impact des charges, des températures et des conditions climatiques sur la déformation des rails et la performance globale du système ferroviaire.

La protection des équipements est essentielle pour prévenir les dommages, l'usure et les défaillances, ce qui prolonge la durée de vie des équipements et minimise les temps d'arrêt imprévus. Des inspections régulières, une maintenance préventive et l'utilisation

d'équipements de protection individuelle constituent des mesures efficaces pour protéger à la fois les machines et les travailleurs.

Enfin, la maintenance proactive et surveillance de la température régulière des appareils de dilatation est indispensable pour garantir la sécurité, la longévité et l'efficacité des infrastructures ferroviaires. En suivant les meilleures pratiques et en adhérant aux normes de maintenance, les opérateurs ferroviaires peuvent optimiser les performances de leurs dispositifs d'expansion, réduire les risques d'accidents et assurer un service sûr et fiable à leurs passagers et clients.

Bibliographie

- [1] François Monchy Jean-Pierre Vernier MAINTENANCE Méthodes et organisations pour une meilleure productivité 3 e E DITION 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.appvizer.fr/magazine/operations/gestion-des-interventions/planning-maintenance>
- [3] <https://www.praxedo.fr/maintenance/maintenance-preventive/>
- [4] <https://antsroute.com/blog/guide-complet-pour-creer-un-planning-de-maintenance/>
- [5] <https://www.legarrec.com/entreprise/indicateur-maintenance/>
- [6] <https://dsdsystem.fr/pourquoi-identifier-vos-besoins-en-matiere-de-gmao/>
- [7] <https://lactanet.ca/genetique-besoins-maintenance-corporelle/>
- [8] <https://digiparc.com/blog/-les-caracteristiques-essentielles-d-un-calendrier-de-maintenance-preventive-efficace.html>
- [9] <https://www.b2o.eu/ressources/etablir-plan-maintenance-preventive/>
- [10] <https://mobility-work.com/fr/blog/strategie-de-maintenance-gmao/>
- [11] <https://metgroupe.fr/strategies-maintenance/>
- [12] <https://www.spectraltms.com/blog/maintenance-pr%C3%A9ventive>
- [13] <https://stsolutions.ch/entretenir-ses-equipements-industriels/>
- [14] <https://www.visiativ.com/definition/maintenance-preventive/>
- [16] <https://www.stelorder.com/fr/blog/maintenance-preventive/>
- [17] https://product-help.schneider-electric.com/ED/MTZ/MTZ_IEC_End-user_Procedures/EDMS/DOCA0103FR/DOCA0103xx/MTZ_L2-3-4_Introduction/MTZ_L2-3-4_Introduction-3.htm
- [19] <https://www.praxedo.fr/notre-blog-specialise/quels-indicateurs-suivre-pour-optimiser-votre-maintenance/>
- [20] <https://blog.aqmanager.com/kpi-maintenance-industrielle>
- [21] <https://www.spectraltms.com/blog/quest-ce-que-la-maintenance-corrective>
- [24] <https://www.pole-formation-uimm-centrevaldeloire.com/maintenance-industrielle/fiche-module-5-defaillances-et-pannes-1-jour-542.html>
- [25] <https://nextgestion.com/fr/modules-dolibarr/60-gestion-des-pannes-et-maintenances.html>
- [26] <https://www.transpoco.com/fr/blog/la-gestion-de-flotte-de-a-a-z-d-pour-defaillances>
- [27] <https://www.litige.fr/articles/produit-defectueux-defaut-fabrication-vice-cache-remboursement-garantie-recours>
- [28] <https://asana.com/fr/resources/root-cause-analysis-template>
- [29] <https://campuslean.com/la-recherche-de-la-cause-racine-a-un-probleme/>
- [30] <https://safetyculture.com/fr/listes-de-verification/modele-danalyse-des-causes-racines/>
- [31] <https://alltogether.be/index.php/2022/01/24/a-la-recherche-des-causes-racines-dun-probleme/>

- [32] <https://safetyculture.com/fr/themes/maintenance-predictive/>
- [33] <https://connect.factorysystemes.fr/blog/2023/04/18/comprendre-lutilisation-des-capteurs-iot-en-4-points/>
- [34] <https://knowhow.distrelec.com/fr/automatisation/systemes-de-surveillance-des-machines-bases-sur-lia/>
- [35] <https://www.bilansgratuits.fr/defaillances/signes-precursseurs-de-la-defaillance-dune-entreprise-comment-les-reperer>
- [36] https://www.data.gouv.fr/fr/pages/onboarding/signaux_faibles/
- [37] <https://www.servicemax.com/fr/produits/planification>
- [38] <https://www.opengst.fr/planification-des-interventions/>
- [39] UIC - Appareils de dilatation des rails Réseau Ferré National - Maintenance des appareils de dilatation American Railway Engineering and Maintenance Association (AREMA) - Track Maintenance Manual
- [40] CHIBA Elhocine Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Génie Mécanique UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA thème Etude du comportement tribologique de contact roue-rail en transport ferroviaire : Application au tramway Ouargla Soutenue publiquement le : 27/04/2023
- [41] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/ingenierie-des-transports-th14/infrastructure-ferroviaire-exploitation-et-securite-42576210/voie-ferree-trp3050/environnement-et-maintenance-de-la-voie-trp3050niv10006.html>
- [42] Adel Nehaoua. Cours de chemin de fer, Université de Sétif, 2014-2015.
- [43] Voestalque VAE GmbH, Enineering and Design, CTE2016-JAE, Setram Ouargla, 2013.
- [44] https://dial.uclouvain.be/memoire/ucl/fr/object/thesis:10662/datastream/PDF_01/view
- [45] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/ingenierie-des-transports-th14/infrastructure-ferroviaire-exploitation-et-securite-42576210/longs-rails-soudes-trp3064/>
- [46] Security and safety: Chapter Six
- [47] Materials used in industrial workwear for hot workplace environments: Thermal and moisture management attributes
- [48] Personal Protective Equipment
- [49] Head Protection: Safety Helmets in the Workplace
- [50] Electrical Safety and Protection