



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique

Mémoire de Fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Domaine : Sciences et de Technologie
Filière: Electromécanique
Spécialité: Maintenance industrielle

Présenté Par :

ABBASSI Abdellatif

&

MISSAOUI Tarek

THÈME

**Etude de la maintenance du circuit d'alimentation électrique
d'entraînement d'un tramway dans un climat désertique**

Soutenu publiquement le 14/06/2022
Devant le jury :

ROUAGDIA Karim
KAREK Rabie
DOKKAR Boubekeur

MCA Université KM Ouargla
MAA Université KM Ouargla
Professeur Université KM Ouargla

Président
Examineur
Promoteur

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2021/2022

Remerciements

Louange et à Dieu pour la bénédiction de l'Islam et de la Sunnah Nous remercions Dieu et le remercions de nous avoir permis d'achever ce travail, en espérant qu'il profitera aux autres. Ce travail n'aurait pas de valeur et n'aurait pas été possible sans l'aide et l'encadrement de **Pr. DOKKAR BOUBEKEUR** Nous le remercions pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, sa patience et ses encouragements à notre égard. Nous remercions également tous les travailleurs de Setram Ouargla pour leur bon accueil et partager leur expérience avec nous pendant la période de stage, en particulier l'ingénieur **Mr BACHIR BEN GANA & ANIS BOUGHERRA**, qui a eu un grand rôle dans l'accomplissement de ce travail. Nous tenons à remercier chaleureusement nos parents généreux et tous les membres de la famille, nous n'oublions pas non plus nos amis et compagnons pour leur encouragement moral. Enfin, nous remercions également tous nos professeurs pour leur générosité et leur grande patience dont ils ont fait preuve malgré leurs responsabilités académiques et professionnelles.

Dédicace

À l'intention d'Allah, mon Créateur et mon Maître, mon grand maître et messenger, Mohammed (paix et bénédictions d'Allah soient sur lui), qui nous a enseigné le but de la vie. À mes parents les plus chers, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi et de m'encourager, et à qui je ne pourrai jamais exprimer ma gratitude et mon appréciation. Que Dieu les garde et protège.

À mon binôme Abdellatif, dont je suis extrêmement fier et reconnaissant de travailler avec lui, et tous mes collègues avec qui j'ai partagé les Cinq dernières années.

À tous les professeurs et enseignants qui m'ont suivi durant tout mon cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir dans mes études. À toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin.

ملخص

لسنوات عديدة، استفاد سوق النقل الحضري بشكل أساسي من وضع الطرق. ومع ذلك، فإن وضع السكك الحديدية ضروري اليوم في مواجهة الاحتياجات المتزايدة لقطارات الترامواي. يعتبر الترامواي جزءاً مهماً لصالح التنمية المستدامة وتحسين نوعية الحياة والبيئة وسهولة الحركة للمقيمين. فهو وسيلة نقل حضرية أصبحت ضرورية في المدن الكبيرة، فهي تسهل السفر ورحلات العمل والتسوق والأطفال للذهاب إلى المدرسة أو حتى لنزهة عائلية بسيطة. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم صيانة دائرة إمداد الطاقة لخط الترامواي في المناخ الصحراوي. وبالتالي ناقشنا في هذا دراسة أداء النظام، وإمداد الطاقة للترام في شركة سيترام (شركة استغلال الترامواي- ورقلة). ومن أجل صيانتها، يخضع هذا النظام لعمليات صيانة مختلفة تحددها الطرق المدروسة (ABC، AMDEC) والتي تجعل من الممكن تحديد الأعطال والعناصر الحرجة وبالتالي تقليل وقت التوقف عن العمل، لذا فإن تحسين عمليات الصيانة يعتمد على معرفة موثوقة للأجهزة وبالتالي يسمح تنفيذ هذه السياسات بتحسين كبير في التكلفة والجودة.

الكلمات المفتاحية: الترامواي، نظام التغذية الكهربائية، الصيانة، العطل، الموثوقية ABC، AMDEC.

Résumé

Depuis des années, le marché du transport urbain bénéficie principalement du mode routier. Cependant, le mode ferroviaire s'impose aujourd'hui face aux besoins croissants des tramways.

Le tramway fait partie d'une grande attention en faveur du développement durable, de l'amélioration de la qualité de vie, de l'environnement et des facilités de déplacements pour les habitants.

C'est un transport urbain devenu incontournable dans les grandes villes, il facilite les voyages, les déplacements professionnels, les courses, les enfants pour aller à l'école ou même pour une simple sortie en famille.

Cette étude vise à évaluer la maintenance du circuit d'alimentation électrique de la ligne de tramway en climat désertique. et en conséquence nous avons discuté dans cette étude la enlèvement le système, d'alimentation électrique du tramway dans l'entreprise SETRAM. (Société d'exploitations du tramway de Ouargla), et afin de le maintenir, ce système fait l'objet de diverses opérations de maintenance déterminées par les méthodes étudiées (ABC, AMDEC) qui permettent d'identifier les défauts et les éléments critiques du système et ainsi de réduire

Résumé

les temps d'arrêt, de sorte que l'amélioration des opérations de maintenance dépend de la connaissance de la fiabilité des appareils. La mise en œuvre de ces politiques permet l'amélioration significative du coût et de la qualité.

Mots-clé: tramway, système d'alimentation électrique, maintenance, défaillance, fiabilité, ABC, AMDEC.

Abstract

For years, the urban transportation market has mainly benefited from road transport.

However, the rail mode is now essential to meet the growing needs of tramways.

The tramway is part of a major focus on sustainable development, improving the quality of life, the environment and the ease of travel for residents.

It is an urban transport system that has become a must in large cities, making travel, business trips, shopping, school trips and even simple family outings easier for children this study aims to evaluate the maintenance of the power supply circuit of the tramway line in a desert climate. and consequently we discussed in this the study the performance of the power supply SETRAM. (Société d'exploitations du tramway de Ouargla), and in order to maintain it, this system is subject to various maintenance operations determined by the methods studied (ABC, AMDEC) which make it possible to identify the faults and the critical elements of the system and thus reduce downtime, so improving maintenance operations depends on knowing the reliability of the devices. The implementation of these policies allows significant improvement in cost and quality.

Keywords: tramway, electrical feeding system, maintenance, malfunctions, reliability, ABC
AMDEC.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I: Description générale

I.1 Introduction	3
I.2 Description d'entreprise SETRAM	3
I.2.1 fondateur	3
I.2.2 Nos partenaires	3
I.2.3 Ses objectifs	4
I.2.4 Institut de Formation au Transport Ferroviaire Urbain Préambule	5
I.2.5 Les objectifs de l'institut de formation	6
I.3 Généralités sur Le tramway	7
I.3.1 Historique	7
I.3.2 Description de tramway de Ouargla	8
I.3.3 Le système	10
I.3.4 Caractéristiques de la rame	11
I.4 Conclusion	13

Chapitre II: Etude technique de l'installation tramway et la maintenance

II.1. Introduction	14
--------------------	----

II.2. Généralités sur les réseaux électriques	14
II.3 La disponibilité et l'assurance d'énergie	15
II.3.1 Le fournisseur d'électricité (SONELGAZ)	15
II.3.2 Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité	16
II.3.3 Réseaux d'électricité (SONELGAZ)	16
II.4 Les infrastructures statiques du système ferroviaire	17
II.4.1 Poste Haute Tension (PHT)	17
II.4.2 Les sous stations de traction (SST) / (SSR)	22
II.4.3 Les équipements d'une sous station de traction	23
II.4.4 Connexion entre les SST	27
II.4.5 Sous-système caténaire	28
II. 4.6 Composition de la caténaire	31
II.4.7 Sous-système SCADA (PCC)	34
II.5 La voie ferrée	34
II.5.1 Structure de la voie	34
II.5.2 Composants de la voie	35
II.6 Présentation de la maintenance	36
II.6.1 Définition de la maintenance	36
II.6.2 Le rôle et l'objectif de la maintenance	36
II.6.3 Management de maintenance	37
II.6.4 Activités de maintenance	38
II.6.5 Types de la maintenance	39
II.6.6 Différentes politiques de maintenance	39

II.6.7 Niveaux de la maintenance	43
II.7 Plan de Maintenance Préventive du circuit d'alimentation	44
II.8 Opérations d'interventions de la maintenance	44
II.8.1 Interventions dans les ateliers sur site	44
II.8.2 Interventions sur la voie ferrée	47
II.9 Fichiers de suivi de maintenance du système d'alimentation de tramway	48
II.10 Suivi de système d'alimentation électrique	50
II.11 Conclusion	51

Chapitre III: Analyse ABC et AMDEC d'une System d'alimentation de Tramway
Ouargla

III.1 Introduction	52
III.2 Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) des systèmes	52
III.2.1 Défaillance de matériel ou système	52
III.2.2 Indices de fiabilité	53
III.2.3 Les indicateurs opérationnels de FMD	54
III.2.4 Durée de vie T	55
III.2.5 Courbe en baignoire	55
III.2.6 Modèles paramétriques de fiabilité	55
III.3 Opérations sur la fiabilité des systèmes	57
III.3.1 Montage série	57
III.3.2 Montage parallèle	58
III.4 Méthodes d'optimisation de la maintenance	59
III.4.1 Application de fiabilité sur la système d'alimentation	59

III.4.2 Calcul de taux de défaillance, fiabilité, défaillance et densité	60
III.4.3 Graphiques des fonctions R(t), F(t), et f (t) en fonction du TBF	61
III.4.4 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)	63
III.4.5 Statistique des pane du circuit d'alimentation	65
III.4.6 Classement des problèmes rencontrés	66
III.4.7 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC	67
III.4.8 Actions d'amélioration	67
III.4.9Analyse De Pareto (ABC)	68
III.5 Conclusion	69
Conclusion générale	71
Références	72

LISTE DES ABRÉVIATIONS

SETRAM : Société d'Exploitation des Tramways

RATP : Régie autonome de transport parisien

PCC : Poste de commande centralisée

EMA : l'Entreprise du Métro d'Alger

SONELGAZ : Société Nationale de l'Électricité et du Gaz

GRTE : Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité

HTA : HAUTE TENSION A

HTB : HAUTE TENSION B

BTA : BASSE TENSION A

BTB : BASSE TENSSION B

TBT : TRES BASSE TENSION

SST : sous stations de traction

SSR : sous stations de redressement

PHT : poste Haute Tension

TT : transformateur de tension

TC : transformateur du courant

PNA : point neutre artificiel

CPI : contrôleur permanent d'isolement

TRT : transformateur traction

SIA : sectionneur d'isolement automatique

PEF : Postes Eclairage Force

LAC : La ligne aérienne de contact

CMP : Coffre mise en parallèle

SCADA : système de contrôle et d'acquisition de données

AFNOR : norme française

PMP : Plan de Maintenance Préventive

$F(t)$: Densité de probabilité

$R(t)$: Fonction de fiabilité

$F(t)$: Fonction de réparation

$\lambda(t)$: taux de défaillance

MTTF: (Mean time of first failure) Temps moyen avant-première défaillance

MTBF: (Mean time between failure) Temps moyen entre deux défaillances

MUT: (Mean up time) Temps moyen de disponibilité

MTTR: (Mean time to repair) Temps moyen de réparation

μ : taux de réparation

γ : paramètre de position

η : paramètre d'échelle

β : paramètre de forme

LISTE DES FIGURE

Chapitre I: Description générale	
Figure I.1: établissement setram	3
Figure I.2: Capitaux et actionnariat	4
Figure I.3: Tramway d'Ouargla	8
Figure I.4: Les Infrastructures – Le centre de maintenance	10
Figure I.5: les stations de Tramway de Ouargla	12
Chapitre II: Etude technique de l'installation tramway et la maintenance	
Figure II.1: Les différents types de réseau électrique	15
Figure II.2 le circuit de l'alimentation de tramway	17
Figure II.3: Circuit bouchon	18
Figure II.4: Sectionneur	19
Figure II.5: Disjoncteur	19
Figure II.6: Parafoudre	20
Figure II.7: Jeux de barres de puissance	21
Figure II.8: Transformateur de puissance	22
Figure II.9: Schéma simplifier du point neutre artificiel (PNA)	22
Figure II .10: Schéma d'un groupe redresseur de traction	24
Figure II.11: Les cellules et Transformateur des SST	26
Figure II.12: Schéma d'une alimentation sans interruption	27
Figure II.13: Connexion en II	27

Figure II.14: Relier des sections de schéma avec des sous- stations	28
Figure II.15: Schéma de l'alimentation par le sol	28
Figure II.16: Système d'alimentation par le sol par ANSALDO	29
Figure II.17: Système APS d'INNORAIL	29
Figure II.18: Coupe transversale d'ALISS	30
Figure II.19 : La ligne aérienne de contact (LAC) à Ouargla	31
Figure II.20: Vue 3D d'une section de LAC	32
Figure II.21: Point d'injection sur la LAC (nourrice)	32
Figure II.22: Isolateur de section	33
Figure II.23: Feu de presence de tension (FPT)	34
Figure II.24: Système de contrôle et d'acquisition de données	34
Figure II.25: Vue 3D d'une voie de tramway de Ouargla	35
Figure II.26: Contenu de la fonction maintenance	37
Figure II.27: Les types de maintenance	39
Figure II.28: Cycle de maintenance préventive systématique	40
Figure II.29: Schématisation de la maintenance préventive conditionnelle	41
Figure II.30: Schématisation de la maintenance corrective	42
Figure II.31: Maintenance des disjoncteurs	45
Figure II.32: Maintenance préventive des sectionneurs	46
Figure II.33: Maintenance préventive des cellules	46
Figure II.34: Véhicule railroute Mercedes-Benz UNIMOG U400 Euro	47
Figure II.35: Chemin de circulation des courants vagabonds	48
Figure II.36: Plan de Maintenance Préventive	50

Chapitre III: Analyse ABC et AMDEC d'une System d'alimentation de Tramway Ouargla

Figure III.1: Optimisation de la fiabilité	52
Figure III.2: Chronogramme d'un équipement réparable	54
Figure III.3: les états successifs que peut prendre un système réparable	54
Figure III.4: Représentation graphique du taux de défaillance (courbe en baignoire)	55
Figure III.5: Densité de probabilité de la loi exponentielle	56
Figure III.6: Influence de β sur la densité de probabilité et le taux de défaillance	57
Figure III.7: Fiabilité de système d'alimentation	62
Figure III.8: Défaillance de système d'alimentation	62
Figure III.9: Densité de système d'alimentation	63
Figure III.10: démarche AMDEC	65
Figure III.11: Courbe des défauts de système d'alimentation de tramway	69

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I: Description générale	
Tableau (I.1): Données générales sur le projet tramway	9
Tableau (I.2): les caractéristiques principales de la rame	11
Tableau (I.3): Correspondant Numéros/Noms des stations	12
Chapitre II: Etude technique de l'installation tramway et la maintenance	
Tableau (II.1): Classification des tensions pour les réseaux électriques	16
Tableau (II.2): Les équipements d'une sous station de traction	23
Tableau (II.3): Les niveaux de maintenance	43
Tableau (II.4): Plan de Maintenance Préventive (PMP) de circuit d'alimentation de tramway	44
Tableau (II.5): Fichiers de suivi de maintenance de système d'alimentation	49
Chapitre III: Analyse ABC et AMDEC d'une System d'alimentation de Tramway Ouargla	
Tableau (III.1): Calcul TBF et TTR sur le système d'alimentation	59
Tableau (III.2): Taux de défaillance, fiabilité, défaillance et densité	60
Tableau (III.3): Indices d'occurrence	64
Tableau (III.4): La méthode AMDEC sur le système d'alimentation de tramway	66
Tableau (III.5): La criticité (G, O, D)	67
Tableau (III.6): Classement des cause par ordre décroissant	69

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les transports en commun sont une solution pour limiter la consommation énergétique et les dépenses liées au transport. C'est tout particulièrement le cas du tramway qui est devenu un moyen de transport que plusieurs villes adoptent de nos jours. C'est un moyen de transport écologique qui offre une alternative intéressante notamment pour désengorger les centres villes.

Les êtres humains pratiquaient le transport terrestre depuis l'antiquité en grande partie les routes esclavagistes et divers moyens primitifs, qui sont le traînage de véhicule par les animaux, mais, il rencontra des difficultés de déplacement en raison de la présence de surpeuplement, ce qui l'amena à chercher à développer ce type de transport, alors qu'il atteignait le transport par chemin de fer. Vers les 19 siècles en Angleterre.

Le tramway est redevenu aujourd'hui le mode de transport collectif urbain le plus répandu dans le monde. La politique algérienne en matière de transport collectif dans les grandes agglomérations, adoptée depuis quelques années, a retenu ce mode de transport pour nos villes pour sortir de l'impasse des encombrements sur les routes occasionnées par des milliers de véhicules. La forte croissance démographique semble la cause principale de ce désagrément où le transport traditionnel par bus est devenu inadapté car il contribue à aggraver les conditions de circulation et ne répond pas aux exigences des voyageurs en matière de confort et de sécurité. C'est dans ce contexte que le projet du tramway d'Ouargla a été élaboré dans le but de désengorger cette ville de très forte densité de population.

Les tramways sont alimentés par un réseau électrique continu, ils captent leur énergie au travers d'une ligne aérienne électrique ou bien un câble tous-terrains raccordés au réseau de distribution. La distribution s'effectue en courant continu sous 750 V. Ce mode d'alimentation introduit des contraintes qui impacteront sur le fonctionnement du réseau des tramways.

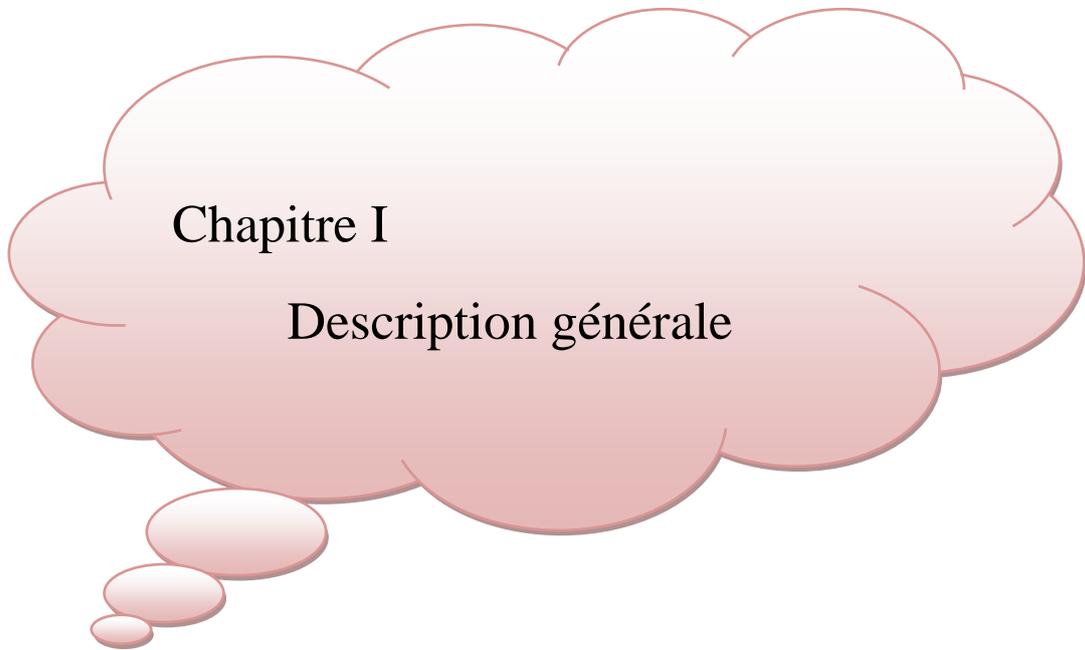
Les réseaux d'alimentation électrique procurent des connexions physiques entre les producteurs d'énergie électrique et les consommateurs, et ils sont dimensionnés et protégés afin de permettre aux systèmes de fonctionner en régime normal comme en régime dégradé. La structure de ces réseaux intègre de nombreux convertisseurs statiques (redresseurs, onduleurs, hacheurs) et de nombreux composants passifs (transformateurs, lignes de transmission, filtres)

Dans notre projet on a réparti le travail en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous donnerons des généralités sur l'entreprise SETRAM et tramway.

Dans le chapitre qui le suit, nous donnerons des généralités sur le réseau de tramway électrique en présentant ses structures et ses équipements et les statistiques de maintenance ainsi que le plan de suivi.

Tandis que le troisième chapitre contient des comptes opérations de maintenance en utilisant des méthodes étudiées.



Chapitre I

Description générale

I.1 Introduction

Le transport est devenu une chose nécessaire dans la vie quotidienne en raison de ce qui répond aux besoins de l'être humain et des facilité dans son mouvement, car nous utilisons plusieurs types et moyens de transport, comme le tramway via les chemins de fer, qui offre un grand confort et bien-être aux voyageurs utilisant plusieurs appareils et systèmes avancés.

I.2 Description d'entreprise SETRAM

I.2.1 Fondateur

SETRAM est la société chargée de l'exploitation et de la maintenance des tramways algériens. Elle exploite actuellement « Alger, Oran, Constantine, Sidi Bel Abbes, Ouargla et Sétif ». la direction générale de la SETRAM se trouve dans la capitale « Alger ».

La SETRAM est née en septembre 2012, d'un accord entre le **Métro d'Alger** (EMA), (51%) et le **groupe (RATP)**, (49%). [1]

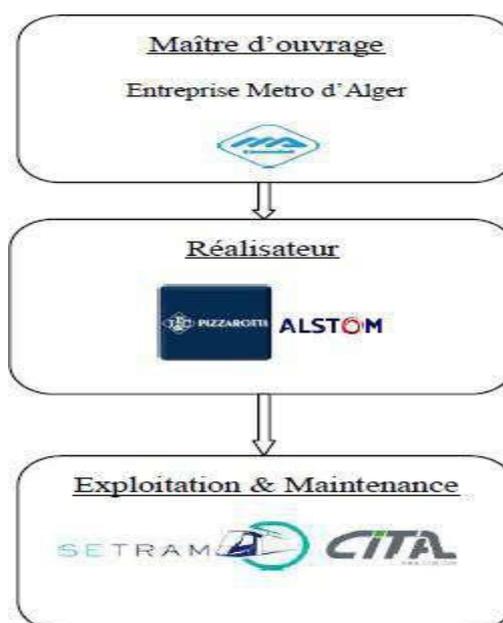


Figure I.1: Établissement setram

I.2.2 Nos partenaires

a) Capitaux et actionariat

La société d'exploitation des tramways, est une société Algéro-française, de droit algérien, les parts sont réparties entre 51% partie algérienne et 49% pour la partie française. [1]

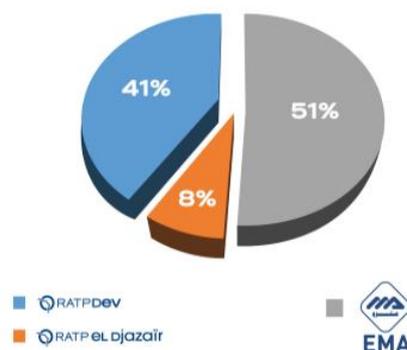


Figure I.2: Capitaux et actionnariat [1]

I.2.3 Ses objectifs

Riche du savoir-faire hérité du groupe **RATP** dont l'expertise a été reconnue en France et à l'international dans de nombreux pays du monde, la **SETRAM**, société de droit algérien a pour objectifs : [1]

- De porter l'Algérie vers un nouveau mode de transport urbain accessible à tous,
- D'offrir un service de transport de haute qualité où sécurité, confort, régularité et propreté sont maîtres à bord,
- D'accompagner les Algériens dans la phase d'adaptation à ce nouveau moyen de transport et l'ancrer dans leurs habitudes de déplacements,
- D'assurer le transfert de savoir-faire des experts du groupe **RATP** vers l'ensemble des salariés de la **SETRAM** par l'apprentissage et la formation,
- De se positionner comme référence en Afrique et dans le monde.

Egalement, **SETRAM** a passé avec succès l'audit de certification qui s'est déroulé du 26 au 29 Novembre 2017 et couvrant le siège de la direction générale et l'unité opérationnelle de Constantine. L'examen d'audit de certification a été mené par l'organisme « VINCOTTE ». [1]

SETRAM s'est ainsi dotée d'une politique qualité basée sur les objectifs suivants:

- ✓ la réussite des mises en service des futurs réseaux et extensions.
- ✓ l'harmonisation des processus et des organisations internes.
- ✓ valoriser notre image d'entreprise innovante et responsable.
- ✓ orienter nos ressources humaines vers le développement des compétences.
- ✓ conforter nos fondamentaux opérationnelles et tendre vers l'excellence.

I.2.4 Institut de formation au transport ferroviaire urbain préambule

La formation est l'un des leviers de la gestion des ressources humaines au sein de la **SETRAM**. Elle permettra d'accompagner les salariés face aux évolutions prometteuses qui attendent le secteur du transport ferroviaire urbain en « Algérie ». Elle est également la clef de la mutation du service public, afin que celui-ci continue à répondre aux fortes attentes des citoyens.

Le développement des réseaux de tramways et métros en Algérie, exige une parfaite maîtrise des compétences acquises du transfert du savoir-faire des experts du **groupe RATP** vers les salariés de la **SETRAM** et de **RATP El Djazair**. Ces compétences sont plus que nécessaires pour garantir la réussite de ces projets sur chacune des étapes, notamment, la conception, la mise en service et le développement du transport ferroviaire urbain. [1]

A l'horizon 2019, parallèlement au développement des réseaux existants de métro et de tramway, six (06) nouveaux réseaux de tramway viendront s'ajouter aux trois(03) réseaux aujourd'hui en exploitation en plus du métro d'Oran.

La **SETRAM**, dont l'une des missions principale est d'assurer le transfert du savoir-faire des experts du groupe **RATP** aux employés locaux, se devait de se doter des moyens et outils nécessaires pour le faire, l'institut de formation a donc été créé.

Depuis la création de l'institut de formation au transport ferroviaire urbain le **14 Mai 2014**, il conçoit et développe une offre de formation continue, toujours enrichie, et adaptée aux besoins exprimés par les salariés et l'employeur, pour leur permettre de consolider et de développer de nouvelles compétences. Cet institut de formation provisoire, en prévision de la réalisation de l'institut de formation au transport ferroviaire urbain définitif, a permis à plus de **350 employés SETRAM** et **RATP DZ** de suivre environ **50 cycles de formation** aux différents métiers tels que :

- Conducteur,
- Régulateur,
- Coordinateur PCC (Poste de commande centralisée).
- Superviseur PCC (Poste de commande centralisée).
- Manager terrain (Agent de maîtrise polyvalent).
- Equipes de cadres.

Les différents domaines de formation s'articulent autour des thèmes suivants :

- La connaissance du monde du transport public
- Le transport public appliqué aux activités des fonctions supports (ressources humaines et contrôle de gestion)

- Le management de l'exploitation
- La conduite
- La régulation (gestion des circulations)
- La réglementation ferroviaire
- La vente et le contrôle
- La sécurisation des espaces
- La maintenance
- Les outils bureautiques et les systèmes d'information

I.2.5. Les objectifs de l'institut de formation

L'Institut de formation ferroviaire de la **SETRAM** aura pour objectifs :

- De garantir des pratiques pédagogiques adaptées aux produits de formation et aux catégories de personnels cibles sur l'ensemble des réseaux.
- De réaliser et maintenir le référentiel de formation qui garantira des pratiques professionnelles homogènes et répondant à un haut niveau d'exigence sur l'ensemble des réseaux de transport urbain gérés par la **SETRAM**.
- D'être le vecteur de diffusion d'une culture de service transport public sécurisé et de qualité.

Pour y arriver, l'Institut de formation ferroviaire est un établissement public, a pour missions :

- Organisation de cycle de formation et de perfectionnement au profit du personnel de l'entreprise.
- Définir les modalités et conditions de mise en œuvre des programmes de formation.

En 2018, **SETRAM** a lancé deux nouvelles unités, menant son réseau à 6 lignes de tramway à travers le territoire national : L'unité de ouargla inaugurée le 20 mars 2018, et l'unité de sétif inaugurée le 8 mai 2018. Ces projets ont été menés à bien dans le cadre du développement du secteur des transports chapeauté par ministère des travaux publics et des transports. [1]

Mise en service le 20 Mars 2018, le tramway de ouargla est le tout premier tramway du désert, conçu pour résister aux conditions climatiques extrêmes liées à la proximité du désert. La ligne du tramway de ouargla relie les terminus **Sid Rouhou et Chenine Kadour** en passant par la nouvelle ville ainsi que la nouvelle gare routière, faisant du tramway une ligne centrale du transport au sein de la ville. [1]

I.3 Généralités sur le tramway

Le mot anglais « tramway » provient de la combinaison de tramway composé de tram, « rail plat », et way signifiant « voie ». Le terme « tramway » désigne donc une voie ferrée formée de 2 rails parallèles sur lesquels circulent des véhicules. Ce même véhicule par extension est aussi couramment appelé tramway.

I.3.1 Historique

Les premiers tramways sont apparus aux états-unis durant la première moitié du (XIXe) siècle, ils sont alors tractés par des animaux, en général des chevaux. Ils circulent en 1832 sur la ligne de « New York » à harlem et en 1834 à la nouvelle orléans. [4]

Le premier tramway de france est construit dans le département de la loire sur la route entre (Montrond-les-Bains et Montbrison). Long de 15 kilomètres, il est mis en service dès 1838. Les tramways pour voyageurs et marchandises, à traction hippomobile ou mécanique, sont institués par la loi de 1880.

Les premiers rails, en u saillant, créent une gêne importante et provoquent quelques accidents. Ils sont supplantés, à partir de 1850, à « New York », par des rails à gorge, puis, en 1852, par des rails dénués de saillant (inventés par le français alphonse loubat). Plus tard, en 1853, en prévision de l'exposition universelle de 1855, une ligne d'essai est présentée sur le Cours la Reine, dans le 8^e arrondissement de Paris. Lors de l'exposition de 1867, une desserte était effectuée par des tramways à traction hippomobile et était surnommée « Cheminade-fer américain ».

Le tramway se développe alors dans de nombreuses villes d'europe (Londres, Berlin, Paris, Milan, etc.). Plus rapides et confortables que les omnibus (circulant sur les voies carrossables), les tramways ont un coût d'exploitation élevé du fait de la traction animale. C'est pourquoi la traction mécanique est rapidement développée: à vapeur dès 1873, à air comprimé (système Mékarski) et à eau surchauffée (système Franca) dès 1878, puis tramways électriques à partir de 1881 (présentation de la traction électrique par Siemens à l'exposition internationale d'Électricité de Paris).

Le développement de l'alimentation électrique, complexifiée par l'interdiction des lignes aériennes dans certaines grandes villes, ne prend une véritable ampleur qu'à partir de 1895 à Paris et en région parisienne (tramway de Versailles).

Aux états-unis, le premier tramway à vapeur a été utilisé à philadelphie, en 1875-1876. Ces tramways à vapeur étaient dotés d'une quarantaine de places, pesaient environ seize tonnes et bénéficiaient d'une puissance de traction de 200 à 300 tonnes en pente. [4]

La modernité technique que représentent l'électricité et surtout les faibles nuisances engendrées par celle-ci facilitent son adoption rapide, une fois que les difficultés liées à la production et au transport de l'électricité furent résolues. Le premier tramway électrique est mis en exploitation à sarajevo (Empire austro-hongrois) en 1885, tandis qu'en suisse, la première ligne (Vevey-Montreux-Chillon), sur la riviera vaudoise, est ouverte en 1888. En france, il circule pour la première fois à clermont-ferrand en 1890.

Aux états-unis, la longueur des voies et le nombre de voies exploitées avec des tramways électriques dépassent ceux des tramways hippo-tractés en 1892 et 1893. [4]

I. 3.2 Description de tramway d'ouargla

Le tramway d'ouargla est la première ligne de tramway au sud algérien, conçue pour résister à des conditions météorologiques extrêmes. Il lie entre les deux terminus de **Sid Rouhou et Chenine Kadour** avec une longueur de la ligne 9.2 km. Cette ligne est empruntée par une flotte de rames Citadis 402 alimentées électriquement par une lignes aériennes de contact(LAC) Il contient également 16 arrêts. [2]



Figure I.3: Tramway d'Ouargla

Tableau I.1: Données générales sur le projet tramway

Maitre de l'ouvrage	Ministère de transport
Maitre de l'ouvrage délégué	Entreprise du métro d'alger
Maitre de l'œuvre	Systra (France)
Montant du contrat d'étude	1,534 ML DA
La société chargée de l'exploitation	SETRAM
Entreprise de réalisation infrastructure et bâtiment	Groupement (Rover/Elecnor)
Montant du contrat (infrastructure et bâtiment)	23,8ML DA
Entreprise de réalisation du système	ALSTOM (France)
Montant du contrat (système)	8,3 ML DA
Nombre de parcs relais	01
longueur de la ligne	9.2 km
Viaduc longueur de	48 m
Vitesse commercial	20 km/h
Nombre de station	16
Débit	3450 passagers transportés/heure/sens aux heures de pointe
Durée total du trajet	36 min

Le projet de réalisation de la 1ère ligne du tramway d'ouargla intègre la construction d'un centre de maintenance qui est situé à l'ouest du corridor, à proximité de la gare multimodale, sur un terrain d'une superficie d'environ 10 hectares.

Le centre de maintenance regroupe, sur un site sécurisé, les infrastructures nécessaires au remisage, à la maintenance des véhicules et installations fixes, et à l'exploitation de la ligne tramway. [2]

Le site regroupe également les services administratifs de l'Exploitant, de **l'Entreprise du Métro d'Alger (EMA)** – Maître d'ouvrage délégué-, des entreprises en charge de la maintenance du matériel roulant et des installations fixes ainsi que divers locaux techniques qui abritent des équipements nécessaires à l'exploitation et la maintenance de la ligne.

Les installations et équipements sont dimensionnés pour le besoins d'un parc de 23 rames de 45 mètres.

Les installations de remisage, maintenance et exploitation du système tramway sont regroupées dans une ou plusieurs infrastructures dimensionnées selon les caractéristiques initiales d'exploitation de la ligne et les perspectives d'évolution de l'offre (prolongements de ligne, augmentation des fréquences, etc.). [2]

Les installations permettent de répondre aux besoins suivants pour le centre de maintenance:

- La circulation sur le site et le remisage de 23 rames tramway de 45 mètres.
- La maintenance de propreté ainsi que la maintenance des 23 rames.
- La maintenance des installations fixes de la totalité de la ligne tramway.
- L'exploitation de la ligne du tramway.
- L'administration des personnels.

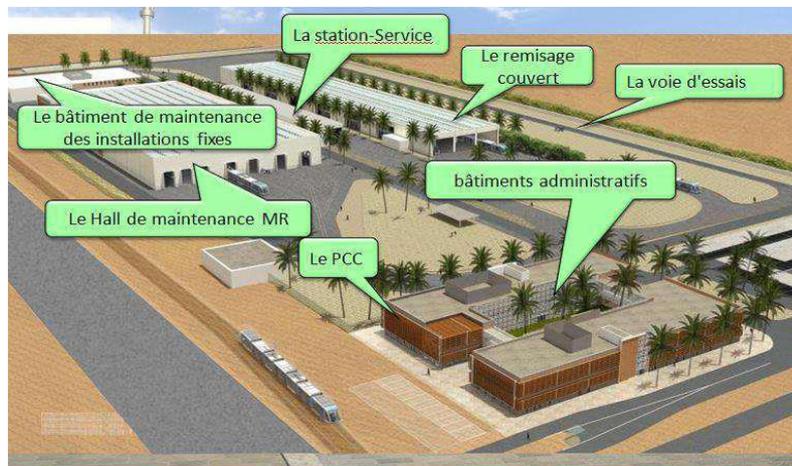


Figure I.4: Les Infrastructures – Le centre de maintenance

I. 3.3 Le système

Il consiste :

- 1 Poste de transformation haute tension 60 kV / 30 kV
- 1 Réseau de distribution HT (30 kV) propre au tramway
- 5 Sous-stations de redressement pour l'énergie traction 30 kV - 750V
- 9 Postes éclairage force 30 kV – 230/400V pour la distribution Basse Tension
- Dans les bâtiments du CDM et bâtiments en ligne
- 1 Réseau radio numérique tétra dédié
- Des caméras de vidéosurveillance réparties le long de la ligne
- 23 Kiosques billettiques adjacents aux stations

I. 3.4 Caractéristiques de la rame

Le tableau I.2 représente les caractéristiques principales de la rame:

Tableau I.2: les caractéristiques principales de la rame [2]

Type rames	Citadis 402
Nombre des rames	23
Longueur de rame	45 m
Largeur de la rame	2,5 m
Hauteur maxi au dessus du rail	3321mm
Hauteur du plancher au dessus du rail	350 mm
Distance entre pivots des bogies	11 142 mm
Empattement des bogies	1 600 mm
Masse à vide en ordre de marche	54,92 t
Masse en charge normale	75,92 t
Nombre de bogies moteurs	3
Nombre de bogies porteurs	1
Nombre de places assises	71
Charge normale (norme de 4 passagers par mètre-carré)	287 passagers
Charge maximale (norme de 6 passagers par mètre-carré)	395 passagers
Vitesse maximale	50 km/h
Puissance maximale à la jante (traction)	880 kW
Tension d'alimentation	750 V Courant Continu
Accélération moyenne en charge normale en palier	1,15 ms. ⁻² de 0 à 40 km/h
Rayon de courbure minimal	25 m

Tableau I.3: Correspondant Numéros/Noms des stations

Direction Sid Rouhou - Voie 1			Direction Cité Nasr - Voie 2		
N° Stations	PK (Km)	Noms des stations	N° Stations	PK (Km)	Noms des stations
1	0.141	Chenine Kadour	16	14.007	Sid Rouhou
2	0.927	Khalil Abdelkader	15	14.445	Saddiki Larbi
3	1.394	Safrani Abdelkader	14	14.881	Ben Abbas Hamadi
4	3.070	27 Fevrier 1962	13	15.306	Zoubidi Abdelkader
5	3.523	Station Multimodale	12	15.636	Hassani El Taib
6	4.060	Nouveau Pole Univ	11	16.162	El Mekhadma
7	4.917	Temam Ahmed	10	16.644	El ChettiLwakal
8	5.755	El Allama Mohammed Ben El HadjAissa	9	17.126	Cheikh Ben Atia Djeloul
9	6.516	Cheikh Ben Atia Djeloul	8	17.887	El Allama Mohammed Ben El HadjAissa
10	7.000	El ChettiLwakal	7	18.726	Temam Ahmed
11	7.482	El Mekhadma	6	19.587	Nouveau pole Univ
12	8.010	Hassani El Taib	5	20.118	Station Multimodale
13	8.340	Zoubidi Abdelkader	4	20.571	27 Fevrier 1962
14	8.764	Ben Abbas Hamadi	3	22.243	Safrani Abdelkader
15	9.200	Saddiki Larbi	2	22.709	Khalil Abdelkader
16	9.647	Sid Rouhou	1	23.499	Chenine Kadour

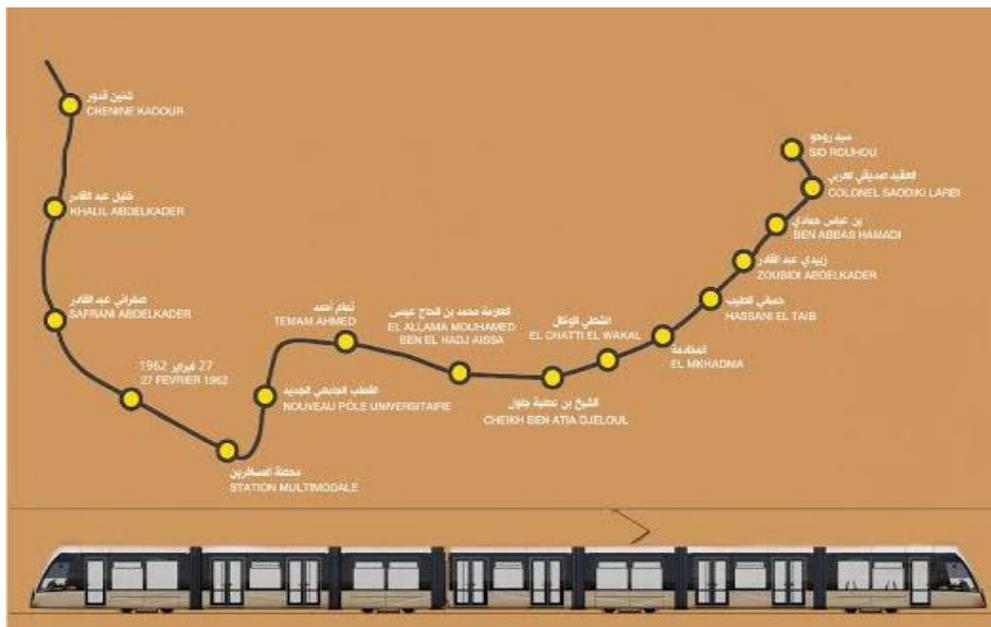
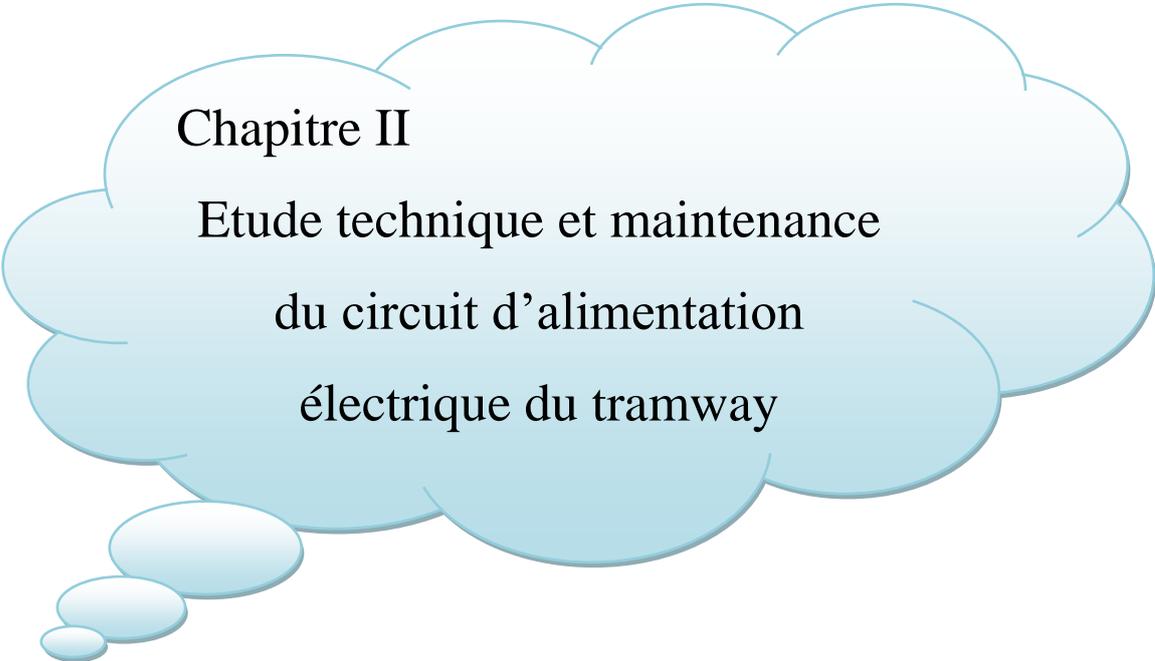


Figure I.5: les stations de Tramway de Ouargla

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise Setram en général, à partir de sa création, sa situation géographique, son histoire, ses départements, son statut et ses objectifs. Ainsi, nous avons décrit un vue d'ensemble de Tramway Ouargla et de ses caractéristiques.



Chapitre II

Etude technique et maintenance
du circuit d'alimentation
électrique du tramway

II. 1 Introduction

Les machines à courant continu ont été les premières machines électriques utilisées dans le domaine ferroviaire, et puisqu'elles étaient les premières machines inventées alors l'alimentation ferroviaire doit être continue. Mais avec l'apparition des machines à courant alternatif et des convertisseurs statiques, la possibilité offerte pour la traction électrique s'est élargie, mais la base de l'alimentation en continue est restée inchangée.

Sachant qu'en Algérie le réseau électrique est en alternatif et le captage du courant est en continu, alors l'assurance d'énergie aux motrices du système doit être garantie par une structure de transformation énergétique robuste et permanente soit en mode générateur ou en mode moteur, cela assure la protection humaine d'une part et améliore les performances du système en exploitation normal, dégradée et en heures de pointe.

II. 2 Généralités sur les réseaux électriques

L'électricité est une énergie souple et adaptable mais elle est difficilement stockable, alors que la consommation des clients et la coïncidence de la demande sont constamment variables.

Le réseau électrique est un « système » très complexe. Il comprend des milliers des composants (générateurs, transformateurs, lignes, contrôleurs, systèmes de protection, entre autres).

La production de l'énergie électrique à proximité des lieux d'utilisation n'est pas toujours possible. Généralement, cette énergie est produite par des groupes de production sous une moyenne tension (15,5 kV ; 12,5 kV ; 11 kV ; 5,5 kV) dans des lieux de plus au moins distants des centres de consommation. Elle est ensuite transformée sous une haute tension (90kV ; 150kV ; 225kV.....) par des transformateurs élévateurs installés à la sortie des générateurs.

La totalité de l'énergie produite ou le sur plus disponible est transporté par un ensemble de lignes électriques sous une haute tension sur plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres, jusqu'aux centres de consommation ; Elle est de nouveau transformée par des transformatrices abaisseur et distribuée sous une moyenne tension (30kV ; 10 kV....) pour la mettre à la disposition des usagers. [3]

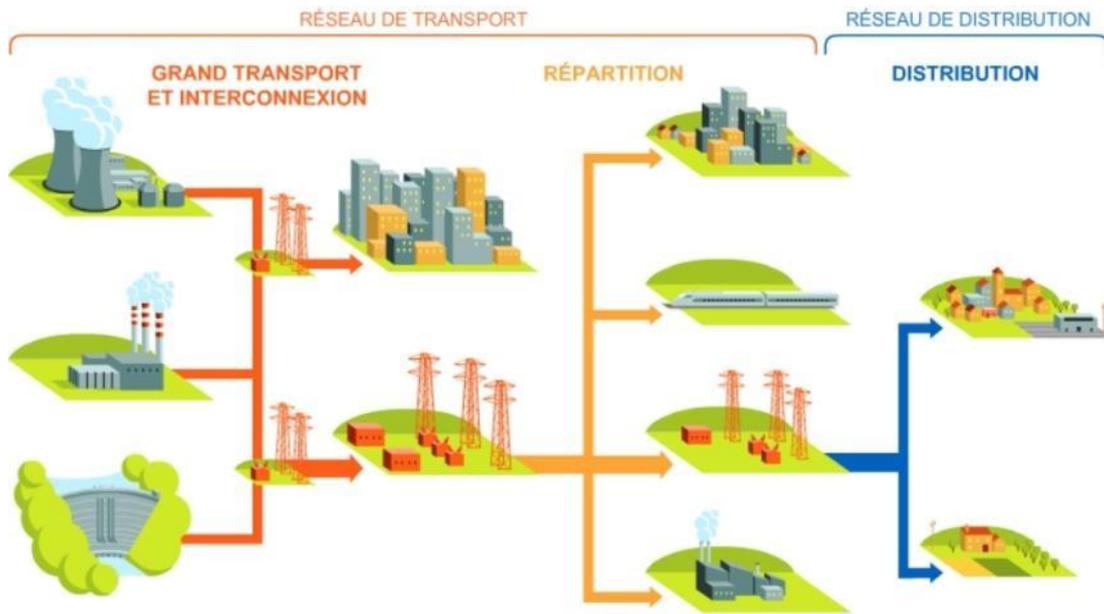


Figure II.1: Les différents types de réseau électrique

II. 3 La disponibilité et l'assurance d'énergie

L'étude du réseau d'alimentation électrique du tramway nécessite une vision et une connaissance du système dans son intégralité. Les analyses de son comportement lors des modes de fonctionnement, requièrent toutefois un regard précis et localisé sur les composants du système. Différentes technologies existent actuellement dans le domaine d'alimentation ferroviaire (dans notre cas c'est le tramway), mais en Algérie on s'intéresse beaucoup plus à l'alimentation aérienne grâce à la simplicité de conception et le coût global du système.

Le système d'électrification du tramway nécessite une grande consommation d'énergie par rapport aux abonnés ordinaires, c'est pour cette raison que ce système doit être considéré comme un client et non pas comme un abonné ordinaire, donc la convention d'électrification devra être à grande échelle d'énergie.

II. 3.1 Le fournisseur d'électricité (SONELGAZ)

SONELGAZ (Société Nationale de l'Électricité et du Gaz) est le seul fournisseur et producteur d'énergie en Algérie, spécialisé dans tous les stades d'électrification c'est à dire la production, le transport, la distribution et la commercialisation d'électricité et de l'achat. Son siège social est situé à Alger.

SONELGAZ exerce ses activités dans les secteurs déréglementés de la production d'électricité, de la fourniture de gaz naturel et d'électricité. La société dispose des installations qui ont une puissance installée totale de 21 000 MW à la fin de 2018. Elle gère différents types de centrale de production électrique comme des centrales hydroélectrique, thermiques classiques, à cycle combiné, à cycle ouvert et dernièrement des centrales à base des énergies renouvelables. La production électrique en Algérie totalise un chiffre près de 72 395 GWh dans les dernières statistiques.

La longueur du réseau de transport électrique réalisée par **SONELGAZ** est de **31164** km, et la longueur du réseau de distribution touche les **357.185** Km avec un nombre de client d'électricité plus de **10.494.465** clients. On annonce aussi que la longueur du réseau de transport du GAZ est de **22.623** Km, et le réseau de transport de ce dernier est de **126.952** Km sachant que le nombre de client du gaz naturel touche les **6.450.538** clients. [7]

II. 3.2 Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité

Le Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité en Algérie dénommée (GRTE), filiale du groupe **SONELGAZ**, a été créé le 1^{er} janvier 2004, conformément à cette loi et enregistrée sous l'appellation « **SONELGAZ** Transport de l'Electricité, GRTE Spa » en septembre 2004. a cet égard, le gestionnaire dispose d'une autorisation d'exploiter le réseau de transport délivrée par le ministère de l'énergie et des Mines, après avis de la Commission de Régulation de l'électricité et du gaz (CREG). [7]

II. 3.3 Réseaux d'électricité (SONELGAZ)

Un plan de réseau électrique existant a été fourni par la **SONELGAZ**. Ce dernier montre les principaux types de réseaux HT/BT.

Le tableau II.1 montre la nouvelle nomenclature des réseaux électriques (basse et haute tension).

Tableau II.1: Classification des tensions pour les réseaux électriques [3]

DOMAINES DE TENSION	COURANT ALTERNATIF	COURANT CONTINU
TRES BASSE TENSION	$U \leq 50V$	$U \leq 120V$
BASSE TENSION A (BTA)	$50V < U \leq 500V$	$120V < U \leq 750V$
BASSE TENSION B (BTB)	$500V < U \leq 1\ 000V$	$750V < U \leq 1\ 500V$

HAUTE TENSION A (HTA)	$1\ 000V < U \leq 50\ 000V$	$1\ 500V < U \leq 75\ 000V$
HAUTE TENSION B (HTB)	$U > 50\ 000V$	$U > 75\ 000V$

II. 4 Les infrastructures statiques du système ferroviaire

La fonction principale du système d'alimentation électrique de traction est de fournir l'énergie nécessaire aux tramways circulant sur la ligne à partir :

- D'un poste Haute Tension 60 KV /30 KV (PHT).
- Des sous stations de traction (SST) ou sous stations de redressement (SSR).
- Sous-système caténaire.
- Sous système SCADA (PCC).

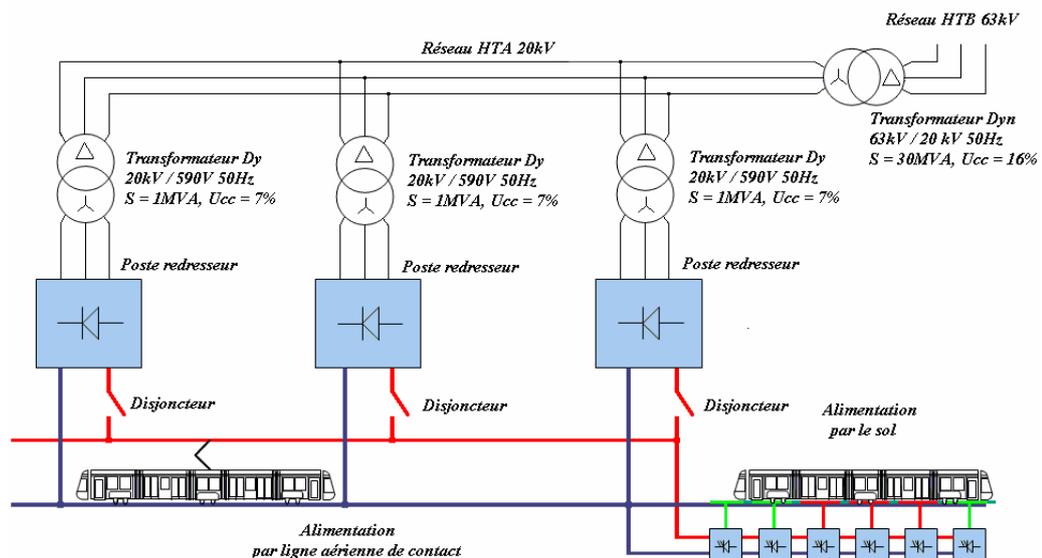


Figure II.2 le circuit de l'alimentation de tramway

II. 4.1 Poste Haute Tension (PHT)

Selon la définition de la commission électrotechnique internationale « un poste électrique est la partie d'un réseau électrique, située en un même lieu comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution ». L'utilisation de n'importe quel niveau de tension doit être spéciale et propre à ce système pour optimiser la faisabilité du projet parce que si l'énergie utilisée fait partie des postes de distribution des habitants (le cas de tramway de la wilaya d'Alger) cela présente plusieurs inconvénients techniques et économiques.

Donc il est préférable d'installer un poste haute tension (PHT) entre les sources d'énergie (le fournisseur) et le réseau électrique du tramway. [5]

Le PHT est alimenté par deux lignes aériennes provenant du réseau SONELGAZ de 60 kV (dit aussi un poste répartiteur) triphasé à 50 Hz, à partir de deux sources indépendantes électriquement et qui sont:

- Une première ligne depuis le poste source de SONELGAZ d'**Ouargla2**.
- Une deuxième ligne depuis le poste source de SONELGAZ de **Said Ataba**.

Le niveau de tension de l'électricité apportée par le fournisseur (le réseau) est modifié par un ou multiples transformateurs qui sont abrités dans ce poste haute de tension. Citons les équipements de ce type de poste (double antenne avec double jeux de barres):

✚ Le circuit bouchon

On dispose d'un circuit bouchon au point de connexion pour empêcher les fréquences de télécommande de remonter dans l'interconnexion et pour éviter la propagation des signaux en dehors de la ligne. Il est constitué d'un circuit d'inductance et d'un condensateur pour assurer le couplage, ses composants sont dimensionnés pour supporter le courant nominal et le courant de court-circuit du réseau. [5]

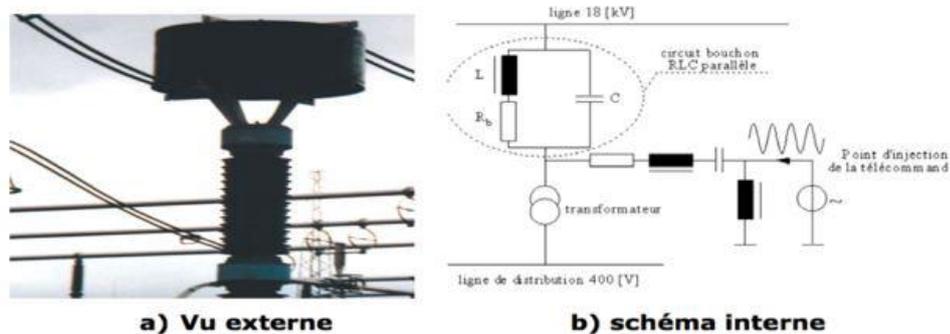


Figure II.3: Circuit bouchon

✚ la Sectionnements

Cette fonction est assurée par des sectionneurs haute tension, qui sont des appareils mécaniques de connexion. Ceux-ci jouent un rôle primordial car ils permettent séparer deux circuits électriques afin de sécuriser les travailleurs et les équipements lors des travaux d'entretien. Dépourvu de pouvoir de coupure et de fermeture, ces équipements doivent obligatoirement être manoeuvrés à vide ; dans le cas contraire nous assisterons à un arc électrique qui peut s'en suivre d'une explosion. [8]

Le sectionneur rotatif: encore appelé sectionneur de ligne, consiste en deux bras articulés qui, en se déplaçant d'une manière coordonnée en effectuant chacun une rotation de 90°, ferment ou ouvrent le circuit reliant les lignes électriques au poste.



Figure II.4: Sectionneur

✚ Le disjoncteur

Des disjoncteurs haute tension, qui sont des appareils mécaniques capables d'établir ou d'interrompre le passage d'énergie électrique dans un circuit suite à une manoeuvre d'exploitation ou à un défaut imprévu dans le réseau. Pour ce qui est du réseau de transport et de distribution, les disjoncteurs SF6 sont utilisés pour assurer la protection des équipements. Ces disjoncteurs possèdent une chambre de coupure remplie de gaz SF6 pressurisé, qui éteint l'arc formé dans le disjoncteur lors d'un défaut. [8]



Figure II.5: Disjoncteur

Parafoudre

Selon le vocabulaire électrotechnique international, un parafoudre est un appareil destiné à protéger le matériel électrique contre les surtensions transitoires élevées et à limiter la durée et souvent l'amplitude du courant de suite. On emploie aussi le terme parasurtenseur. [5]



Figure II.6: Parafoudre

Le transformateur de tension

Il permet de mesurer une tension du domaine de la H.T avec une bonne précision et sans intervention sur l'installation haute tension.

L'isolation galvanique réalisée par le transformateur isole et sécurise l'utilisateur et le matériel car la tension recueillie aux bornes du secondaire appartient au domaine B.T (100 à 110 V en général).

- Un TT de mesure est conçu pour transmettre une image aussi précise que possible de la tension primaire assignée entre 80% et 120% de celui-ci.
- Un TT de protection est conçu pour transmettre une image aussi fidèle que possible de la tension en cas de défaut (baisse de tension ou surtension), ils doivent donc avoir une précision et une puissance adaptées aux tensions de défaut et donc distinctes de celles pour la mesure. [5]

Le transformateur du courant

Les transformateurs de courant alimentent les instruments de mesure basse tension et les isolent du réseau. Ils délivrent à leur secondaire un courant normalisé proportionnel au courant primaire, ils doivent donc être adaptés aux caractéristiques du réseau en termes de tension, fréquence, courant.

La précision de fonctionnement des appareils de mesure ou de protection dépend directement de la précision du transformateur du courant, sachant que:

- Un TC de protection est conçu pour transmettre une image aussi fidèle que possible du courant de défaut (surcharge ou court-circuit), la précision et la puissance sont adaptées à ces courants et distinctes de celles pour la mesure. [5]

✚ Les jeux de barres

Ils assurent l'alimentation et la répartition d'énergie. Ils sont généralement des barres plates ou des tubes creux en cuivre ou en aluminium, la section nécessaire des barres se détermine en fonction des courants d'utilisation, de l'indice de protection et de la contrainte thermique du court-circuit. Dans un poste électrique plusieurs jeux de barres connectés en parallèle permettent de faire la maintenance des jeux de barres sans mettre le poste entier hors tension. [5]



Figure II.7: Jeux de barres de puissance

✚ Transformation de puissance

C'est un composant électrique haute-tension essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la commission électrotechnique internationale est la suivante : « Appareil statique à deux enroulements ou plus qui par induction électromagnétique transforme un système de tension et courant alternatif en un autre système de tension et courant de valeurs généralement différentes à la même fréquence dans le but de transmettre de la puissance électrique ». Sa principale utilité est de réduire les pertes dans les réseaux électriques. Il peut être monophasé ou triphasé et recevoir divers couplages : étoile, triangle et zig-zig. [5]



Figure II.8: Transformateur de puissance

✚ Le point neutre artificiel (PNA)

Un point neutre artificiel (appelé aussi transformateur de mise à la terre ou générateur homopolaire) est un dispositif utilisé dans les systèmes de distribution électrique triphasés pour fournir un point neutre au réseau électrique dans le cas où la source d'alimentation principale (générateur ou transformateur) n'a pas de connexion à la terre appropriée.

L'utilisation d'un point neutre artificiel (mais plutôt avec des résistances) pour pouvoir connecter un contrôleur permanent d'isolement (CPI) à un réseau sans neutre distribué sachant que le CPI doit normalement être branché entre le neutre et la terre afin de surveiller l'isolement du réseau.

[5]

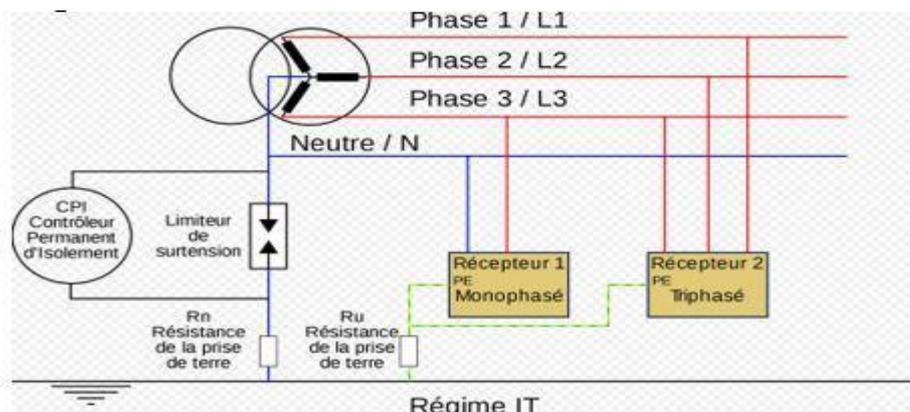


Figure II.9: Schéma simplifier du point neutre artificiel (PNA)

II. 4.2 Les sous stations de traction (SST) / (SSR)

Une sous station de traction est l'interface entre le réseau HTA local (30 kV à 10 kV) et le réseau continu à 750 Vcc. Le nombre d'arrivées de niveau de tension HTA peut varier selon la construction du réseau de tramway. Au même titre que les réseaux d'alimentation électrique des métros, plusieurs connexions à des réseaux HTA distincts permettent de garantir un service de fonctionnement minimum lors d'un défaut électrique majeur sur un des réseaux HTA.

La SST fournit deux types de tension :

✚ Tension continue pour la traction

Le transformateur de traction alimente en basse tension le redresseur qui à son tour fournit une tension continue de 750V. Passant à travers d'un sectionneur d'isolement automatique (SIA), d'un disjoncteur ultra rapide (DUR) et d'un sectionneur de ligne

✚ Tension alternative pour l'alimentation des auxiliaires

Le transformateur auxiliaire alimente le tableau général basse tension (TGBT) dans la Postes Eclairage Force (PEF) qui distribue la basse tension (BT) et assure la protection des équipements auxiliaires, de l'Armoire de Contrôle Commande (ACC), l'Armoire d'Arrêt d'Urgence AAU, et l'éclairage des quais de stations voyageurs et les plaques de signalisation les plus proches et pour l'alimentation des équipements de Postes Eclairage Force (PEF). [9]

La répartition des SSR le long de la ligne permet :

Une stabilité de la tension, dans une marge acceptable évitant ainsi les problèmes dus aux chutes de tension qui vont crescendo avec la distance de la ligne. Dons une repartition adéquate permet de réduire ces chutes.

D'assurer une continuité de service, en cas de pannes survenant sur une SST ou pendant une de celle-ci. Chaque sous station de traction raccordée au réseau (boucle) 30 kV du tramway de Ouargla est alimentée par le poste haute tension motionnée précédemment. [9]

II. 4.3 Les équipements d'une sous station de traction

La tableau II.2 présente les éléments de la sous-station (Transformateur, Disjoncteur, Armoire de command).

Tableau II.2: Les équipements d'une SST

Equipements	Acronymes
a) Un tableau HTA 30 KV comprend :	(THTA)
• Une cellule disjoncteur d'arrivée	(DA)
• Une cellule disjoncteur de départ	(DS)
• Une cellule disjoncteur boucle secours	(DS-S)

• Une cellule disjoncteur HTA de groupe de traction • Une cellule intercepteur fusible transformateur auxiliaire	(DHTA-R) (ITRA)
b) Un transformateur de traction de 2 000 KV(~)(TRT)	(TRT)
c) Un transformateur auxiliaire de 200 KV (~)	(TRA)
d) Une armoire SIA redresseur comprenant : • Un redresseur • Un sectionneur d'isolement automatique	(RED) (SIA)
e) tableau de protection traction comprenant : • Quatre disjoncteurs Ultra rapides	(DUR)
f) Un tableau de distribution traction comprenant : • Deux intercepteurs de secours télécommandés • Quatre sectionneurs de ligne	(IST)
g) Un coffret négatif	(NEG)
h) Un tableau général de basse tension	(TGBT)
i) Un tableau basse tension secours	(TBTS)
j) Une alimentation sans interruption	(ASI)
k) Un tableau basse tension courant continue	(TBTCC)
l) Un chargeur de batterie	(CB)
m) Une armoire contrôle commande / arrêt d'urgence	(ACC-AU)

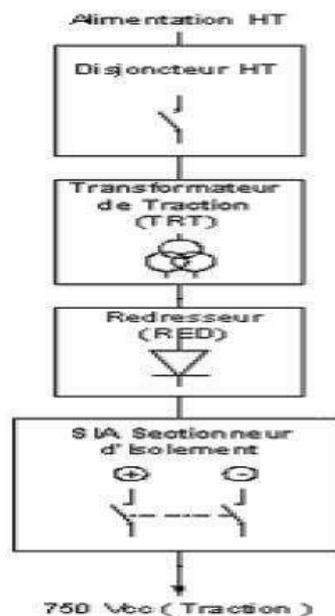


Figure II .10: Schéma d'un groupe redresseur de traction

Transformateur de traction (TRT)

D'après la norme NF C 52112-1 concernant les transformateurs triphasés de distribution de 50 kVa à 2 500 kVa destinés à fonctionner dans des réseaux de distribution triphasés, pour un service continu à l'intérieur comme à l'extérieur, conviennent aux installations de tramway.

Le transformateur de traction permet d'abaisser la tension alternative, HT, à une tension alternative BT qui alimente le groupe redresseur.

Un transformateur est un appareil fiable. Les enroulements primaires et secondaires sont placés autour d'un noyau magnétique. [10]

Disjoncteur DHTA-R en amont du transformateur

Le rôle du disjoncteur avec sa cellule est de protéger le transformateur TRT.

Transformateur auxiliaire (TRA)

Chaque SST est équipée d'un transformateur monophasé appelé transformateur des auxiliaires et sont identiques.

Cellule Interrupteur Transformateur auxiliaire (ITRA)

Cette cellule est munie d'un interrupteur et d'un fusible situés au départ transformateur auxiliaire pour assurer la protection de celui-ci.

Les Tableaux Généraux Basse Tension (TGBT)

Les Tableaux Généraux Basse Tension (TGBT) sont installés dans les sous-stations de traction de la ligne. Ils permettent la distribution de l'énergie BT issue des transformateurs des auxiliaires d'une sous-station vers les équipements de celle-ci.

Un module d'entrée-sortie est intégré dans l'armoire du TGBT, afin de remonter les informations de contrôle commande du TGBT vers le PCC (Poste de Conduite Centralisé). De manière à autoriser la possibilité de modification ou d'extension sur les équipements pour la distribution de l'énergie Basse Tension. [10]

Redresseur (RED)

Un redresseur, également appelé convertisseur alternatif/continu, transforme la tension (BT) alternative issue du (TRT), en énergie continue.

sectionneur d'isolement automatique (SIA)

C'est un composant électromécanique permettant une ouverture d'un circuit électrique, et assure une distance de séparation suffisante. Il peut être utilisé pour plusieurs raisons notamment d'isoler une alimentation sur une certaine partie du circuit tout en assurant la présence du courant

dans d'autres parties (cas de consignation), ou aussi d'assurer la sécurité du personnel sur la partie isolée.[10]

✚ disjoncteur ultra rapide (DUR)

Le disjoncteur ultra-rapide est conçu pour assurer, en cas de détection d'un défaut de court-circuit ou d'une éventuelle surcharge, la protection et l'isolation de la Ligne Aérienne de Contact (LAC). Il est opérable en mode local ou à distance et est sécurisé par verrouillage mécanique.

✚ Sectionneur de ligne (SL)

Le sectionneur de ligne dans les sous-stations a comme objectif d'isoler l'alimentation injectée à la ligne d'exploitation par ces dernières, il est considéré comme un équipement primaire pour les procédures de consignations (coupure visible).



Figure II.11: Les cellules et Transformateur des SST

✚ Les alimentations sans interruption (ASI)

En temps normal, la batterie est maintenue en charge, mais l'énergie est produite par le réseau via le redresseur et l'onduleur. En cas de panne dans le réseau, comme dans certaines applications sensibles (hôpitaux, serveurs informatiques...) qui ne peuvent supporter la moindre panne d'alimentation, l'énergie est produite par la batterie via l'onduleur. [9]

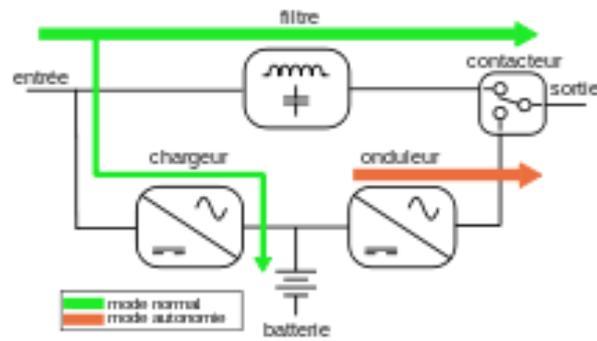


Figure II.12: Schéma d'une alimentation sans interruption

II.4.4 Connexion entre les SST

On désigne par la connexion entre les sous stations de traction la disposition des SST sur le chemin du tramway, ainsi que le raccordement de celles-ci pour faciliter la tâche de consignation lors de l'exploitation.

✚ SST en Π

Elle permet de connecter deux sections électriques consécutives, elle est composée d'un tableau de protection traction avec deux DURs débroschables (DUR 1 et DUR 2), d'un tableau de distribution traction à deux sectionneurs ligne (SL1 et SL2). Ce genre de SST se place au niveau des limites de chaque secteur. [10]

La ligne de tramway de Ouargla est divisée en quatre sections (SE10, SE20, SE30, SE40). Chaque section est reliée à une ou deux sous-stations, comme le montre la figure II.14.

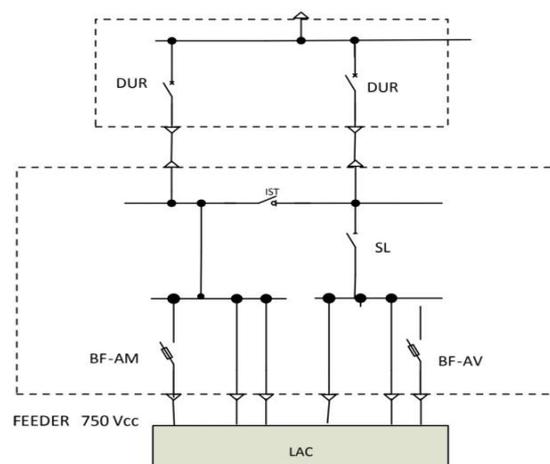


Figure II.13: Connexion en Π

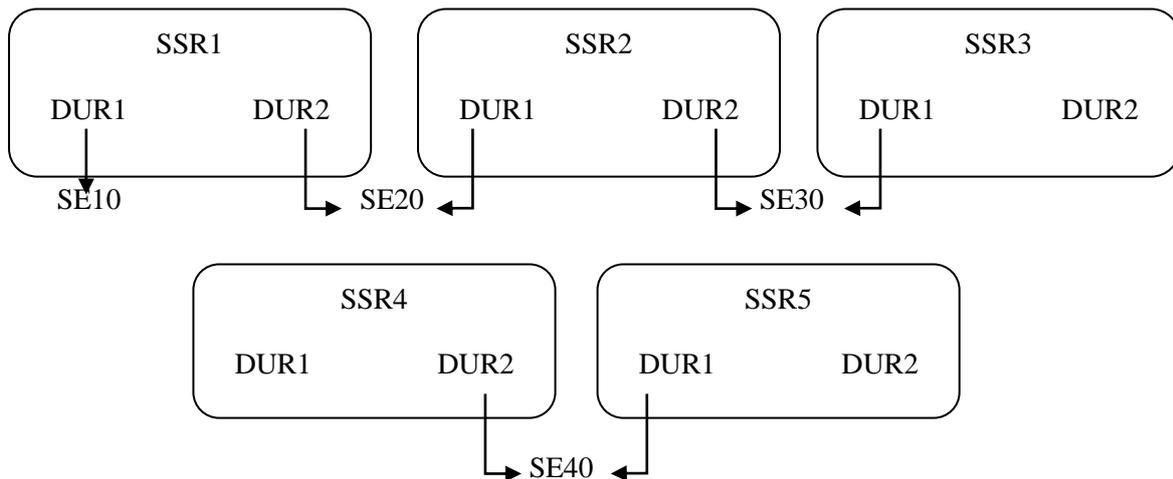


Figure II.14: Relier des sections de schéma avec des sous- stations

II.4.5 Sous-système caténaire

Le système caténaire est un ensemble de câbles permet de répartir le courant fourni par les sous stations et de l'acheminer jusqu'à la motrice Il y a deux catégories de sous-système caténaire sont : [5]

a) Alimentations Par le Sol (APS)

Elle a été introduite à la fin du 19ème siècle. Aujourd'hui, elle est réalisée par un troisième rail encastré au milieu des voies et l'énergie électrique (750V) est captée par l'intermédiaire de deux frotteurs situés au-dessous et au milieu de la rame. Ce rail est constitué par des segments de 8 m séparés par des joints isolants de 3 m.

Chaque tonçon est contrôlé par des coffrets d'alimentation, disposés dans l'entrevoie tous les 22 m. Une antenne proche des frotteurs permet aux coffrets de détecter la présence du tramway : C'est alors que le segment concerné se met sous tension. [6]

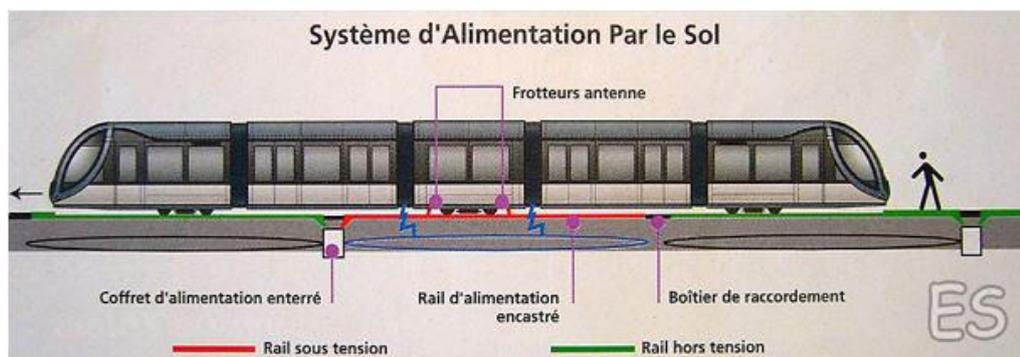


Figure II.15: Schéma de l'alimentation par le sol

Sur le schéma dans la figure II.15, les segments rouges représentent la partie sous tension qui se déplacent avec le véhicule et ne déborde jamais du tram. Les segments verts représentent la partie hors tension et ils sont sans danger.

Il existe actuellement trois procédés de mise sous tension de secteurs conducteurs au passage du tramway.

➤ **Le procédé STREAM d'ANSALDO :**

Sous chaque véhicule, un aimant permanent est associé au frotteur positif.

Lors du mouvement du véhicule, le matériau ferromagnétique est ainsi attiré vers le haut, mettant en contact le feeder positif et un ou deux secteurs conducteurs. Le frotteur du véhicule passe alors au potentiel 750V figure II.16. [6]

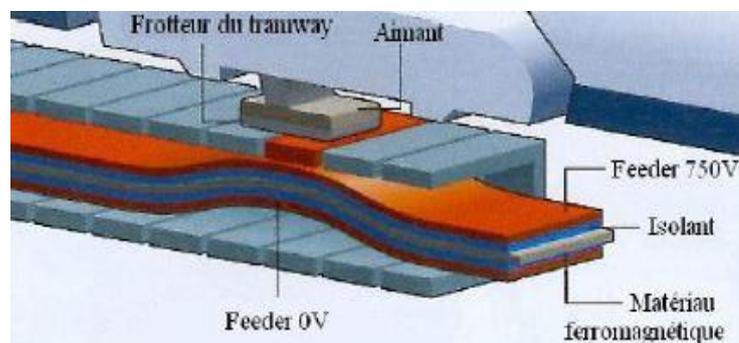


Figure II.16: Système d'alimentation par le sol par ANSALDO

➤ **INNORAIL :**

Le principe de base du procédé d'APS d'INNORAIL est le même que celui développé par ALSTOM. Ces systèmes sont composés d'un ensemble de secteurs conducteurs, isolés électriquement les uns des autres. Ces secteurs se situent entre les rails de roulement, au milieu de la voie. Chez INNORAIL, les secteurs sont commutés au fur et à mesure de l'avancement du tramway par des contacteurs. La présence du véhicule est signalée grâce à une boucle d'induction. [6]

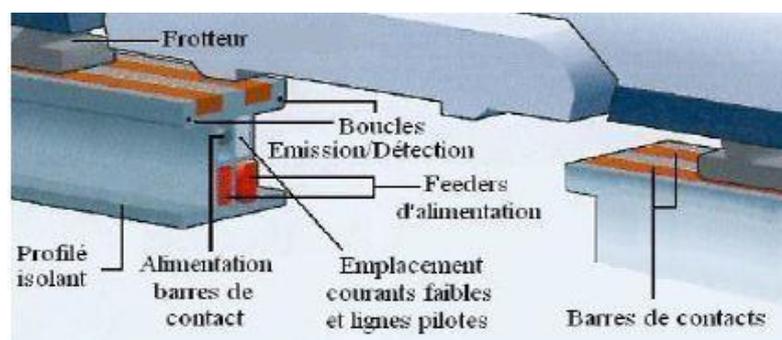


Figure II.17: Système APS d'INNORAIL

➤ **Le procédé ALISS :**

Breveté par ALSTOM en 1998 à la différence d'INNORAIL, la localisation des tramways est réalisée grâce à l'émission réception d'un signal porteur, hautement sécurisé, issu de chaque véhicule. Ce signal transite via le frotteur du véhicule est analysé par le module de commutation à l'aplomb du secteur en contact avec le frotteur.

La mise sous tension est assurée grâce à la commutation d'interrupteurs de puissance IGBTs. [6]

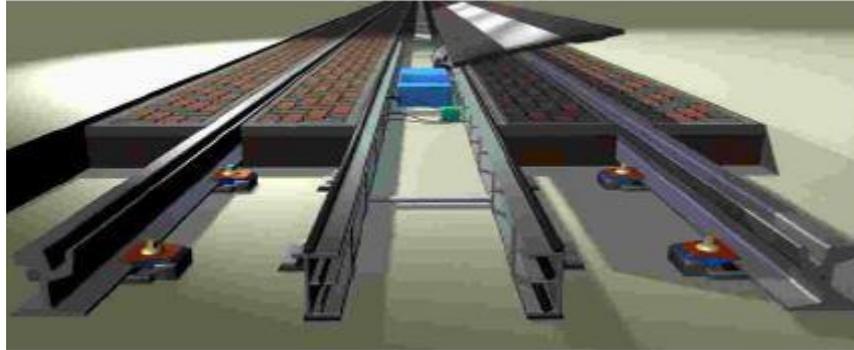


Figure II.18: Coupe transversale d'ALISS

b) La ligne aérienne de contact (LAC)

La ligne aérienne de contact figure II.19 est composée d'un fil de contact suspendu à un câble porteur par une série de pendule, le fil de contact est tendu mécaniquement de part et d'autre sur des poteaux installés à un intervalle régulier.

La LAC a une section de 102 à 150 mm² suivant la valeur des courants prévus dans les conditions les plus défavorables, a une section ronde ou ovale et comporte dans sa partie supérieure un talon formé à la tréfilerie permettant au fil d'être pris dans une pince de suspension.

Les fils de contact sont généralement en cuivre électrolytique à haut degré de pureté pour avoir la résistance électrique la plus faible. La ligne aérienne est divisée en section ce qui permet d'isoler une portion de réseau en cas de défaut. [6]

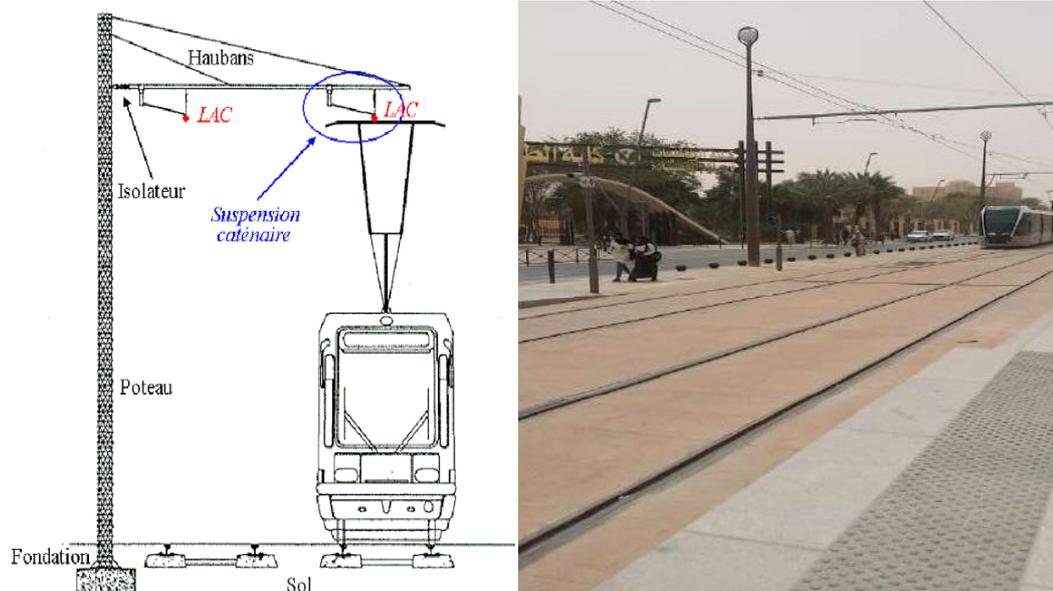


Figure II.19 : La ligne aérienne de contact (LAC) à Ouargla

La figure II.19 représente un exemple de tramway d'Ouargla avec une ligne aérienne.

Un fil conducteur est placé dans l'axe de la voie Figure II.19, permettant à l'appareil de prise de courant articulé « pantographe » de capter l'énergie pour alimenter ses équipements de puissance. Le nombre de conducteurs électriques distribués dépend de la tension utilisée, de la vitesse de la ligne, du dimensionnement électrique nécessaire en fonction du nombre de circulations présentes simultanément sur un même secteur.

En modifiant sans cesse le point de contact, et ceci en formant un zigzag à la caténaire sur le plan horizontal entre les poteaux. [10]

II .4.6 Composition de la caténaire

D'après la norme NFC 34-110-2 Conducteur en alliage de cuivre qui a le rôle de porter le fil de contact le long de la ligne ferroviaire a les dimensions suivantes :

Un porteur de bronze 65.4 mm²

Un fil contact cuivre 150 mm²

Deux conducteurs de protection aérienne alu-acier (retour de courant) de 240/40 mm² si nécessaire.

Feeder d'alimentation 240/40 mm² si nécessaire

Le poids total de la caténaire est de 1.60 kg/m [10]

L'introduction du courant dans la LAC se fait via des nourrices Figure II.19, qui empruntent le support de la LAC et se subdivisent en deux pour permettre d'acheminer le courant, et ce à cause de la présence des isolateurs entre le support et la LAC.

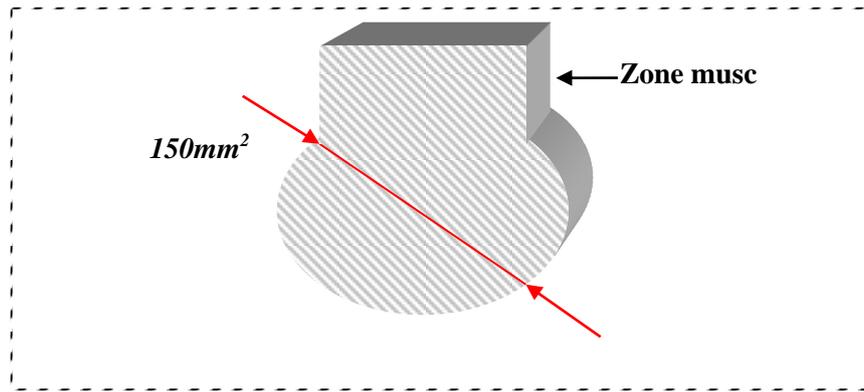


Figure II.20: Vue 3D d'une section de LAC

✚ Coffre mise en parallèle (CMP)

Le CMP contient des petites salles souterraines avec des jeux de barres reliés à un câble en aluminium (câble alimentation « feeder » 2 x 630 mm). Dans un point précis de la voie, le câble injecte le courant électrique sous une tension de 750 V.

La disposition des supports à nourrices est à la proximité de chaque sous-station ou près de chaque boîtier feeder. L'injection ne nécessite pas une synchronisation car on est en courant continu.



Figure II.21: Point d'injection sur la LAC (nourrice)

✚ Sectionnements

En cas d'incident ou d'un mauvais fonctionnement sur une partie de la LAC on doit isoler celle-ci pour effectuer des réparations tout en laissant le reste de l'installation en fonction, et cela par un sectionnement adéquat de la partie affectée.

✚ **Isolateur de section:** dont le rôle est de permettre d'isoler électriquement une section de caténaire, des sections encadrantes. En effet, pour des raisons d'entretien, il peut être nécessaire de ne plus alimenter une portion de caténaire. Il est utilisé soit sur les voies parcourues à faible vitesse. [10]



Figure II.22: Isolateur de section

✚ **Interrupteur d'isolement télécommandé (IIT) :** Il divise les grandes sections en petites sections en déconnectant le courant électrique dans une la Sous-section, ce qui facilite le processus de maintenance.

✚ Feu de presence de tension (FPT)

C'est un signal lumineux qui informe l'utilisateur s'il y a un courant électrique ou non dans le Section après celui-ci.



Figure II.23: Feu de presence de tension (FPT)

II.4.7 Sous-système SCADA (PCC)

Le système SCADA (système de contrôle et d'acquisition de données) est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémesures et de contrôler à distance les installations de circuit électrique ferroviaire figure II.24. [4]



Figure II.24: Système de contrôle et d'acquisition de données

II.5 La voie ferrée

II.5.1 Structure de la voie

La structure générale de la voie figure II.25 est composée des éléments suivants :

- La plateforme : Sol naturel sous la dalle de fondation.
- Béton de propreté : Couche de béton entre la plateforme et le tapis résilient (niveau 2).
- Tapis résilient : Tapis anti-vibratile utilisé dans la voie qui est proche des immeubles (niveau2).
- La dalle de fondation : Dalle de béton sous la dalle de voie.

- La dalle de voie : Son rôle est de caler la super structure (fixation+rail).
- Le rail et les composants annexes.
- Le revêtement : sa nature est variable selon le projet (gazon, béton, etc.). [11]

La figure suivante représente la structure de la voie de tramway d'Ouargla

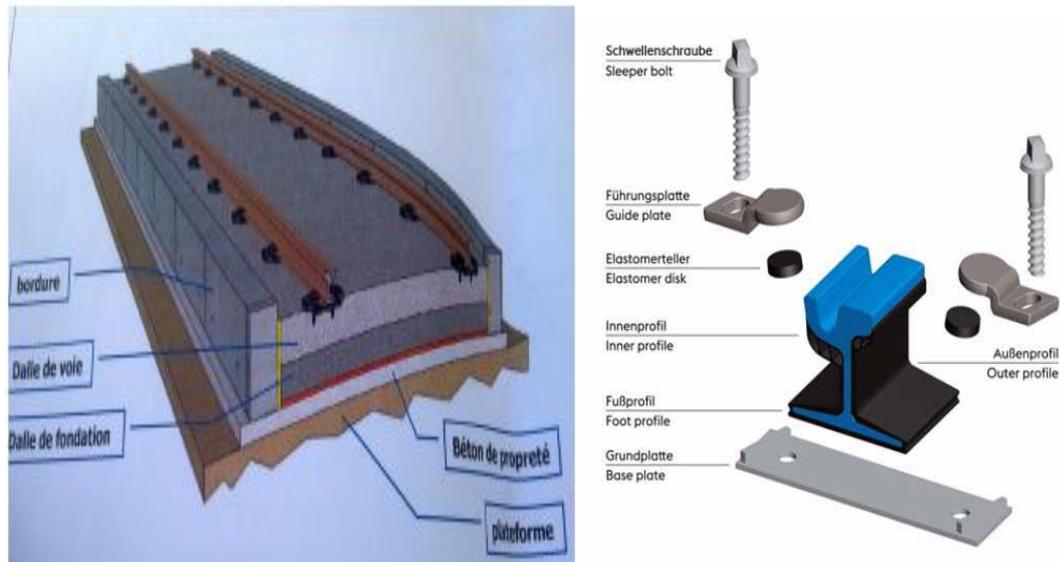


Figure II.25: Vue 3D d'une voie de tramway de Ouargla

II.5.2 Composants de la voie

- ✚ **Le Rail:** Le rail est le premier élément en contact entre le véhicule et la voie. Il se charge de transmettre et de répartir les forces du véhicule sur le système en dessous. Il y a différents types de rails avec différentes caractéristiques.
- ✚ **Le système de fixation:** Le système d'attache doit permettre de maintenir le rail en position sur le support de pose quel qu'il soit : selle ou traverse.
- ✚ **Le taquet d'arrêt:** Les taquets d'arrêt sont des dispositifs implantés à l'extrémité des voies de terminus, de stockage ou de remisage. Ils bloquent la roue d'une rame stationnée qui partirait à la dérive.
- ✚ **Le joint isolant:** Le rôle d'un joint isolant est d'assurer l'isolement électrique longitudinal des fils de rail dans un but de sectionnement électrique, pour des besoins de signalisation par exemple.
- ✚ **L'appareil de dilatation:** L'appareil de dilatation est un appareil de voie autorisant le mouvement longitudinal relatif de deux rails adjacents tout en assurant un guidage et un

support correct. On rencontre de tels mouvements longitudinaux du rail en extrémité des ouvrages d'art.

- ✚ **L'appareil de voie:** Pour permettre au matériel roulant de changer de voie ou pour permettre une bonne organisation du stockage dans le dépôt, il est nécessaire de mettre en place des liaisons et des intersections entre les voies. Ces dispositifs sont plus communément appelés appareils de voie.

II.6 Présentation de la maintenance

II.6.1 Définition de la maintenance

La fonction maintenance, dont la vocation est d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est maintenant une des fonctions stratégiques majeures dans les entreprises. De manière plus pragmatique, un système de production n'est performant que si sa finalité, les objectifs qui lui sont attribués, les résultats qu'il fournit et les moyens (financiers, stratégiques, technologiques et humains) qu'il met en œuvre, sont en parfaite cohérence.

D'après la norme européenne - norme française [AFNOR], la maintenance est définie comme l'"Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise". [16]

II.6.2 Le rôle et l'objectif de la maintenance

Le rôle principal d'un service maintenance est de maintenir les capacités opérationnelles des moyens de production, ainsi que leurs valeurs patrimoniales. Ces capacités opérationnelles sont nécessaires pour servir une commande non pas lorsque l'entreprise peut l'honorer, mais au moment où le client la demande. La valeur patrimoniale peut s'envisager comme l'allongement de la durée de vie utile des machines et équipements, ce qui repousse ou annule la nécessité d'un nouvel investissement, ou en facilite la revente. [17]

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- ✓ la disponibilité et la durée de vie du bien.
- ✓ la sécurité des hommes et des biens.
- ✓ la qualité des produits.
- ✓ la protection de l'environnement.
- ✓ assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- ✓ L'optimisation des coûts de maintenance.
- ✓ consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité).

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion. Ces différentes activités sont représentées dans la figure II.26 contenue de la fonction maintenance.

[14]

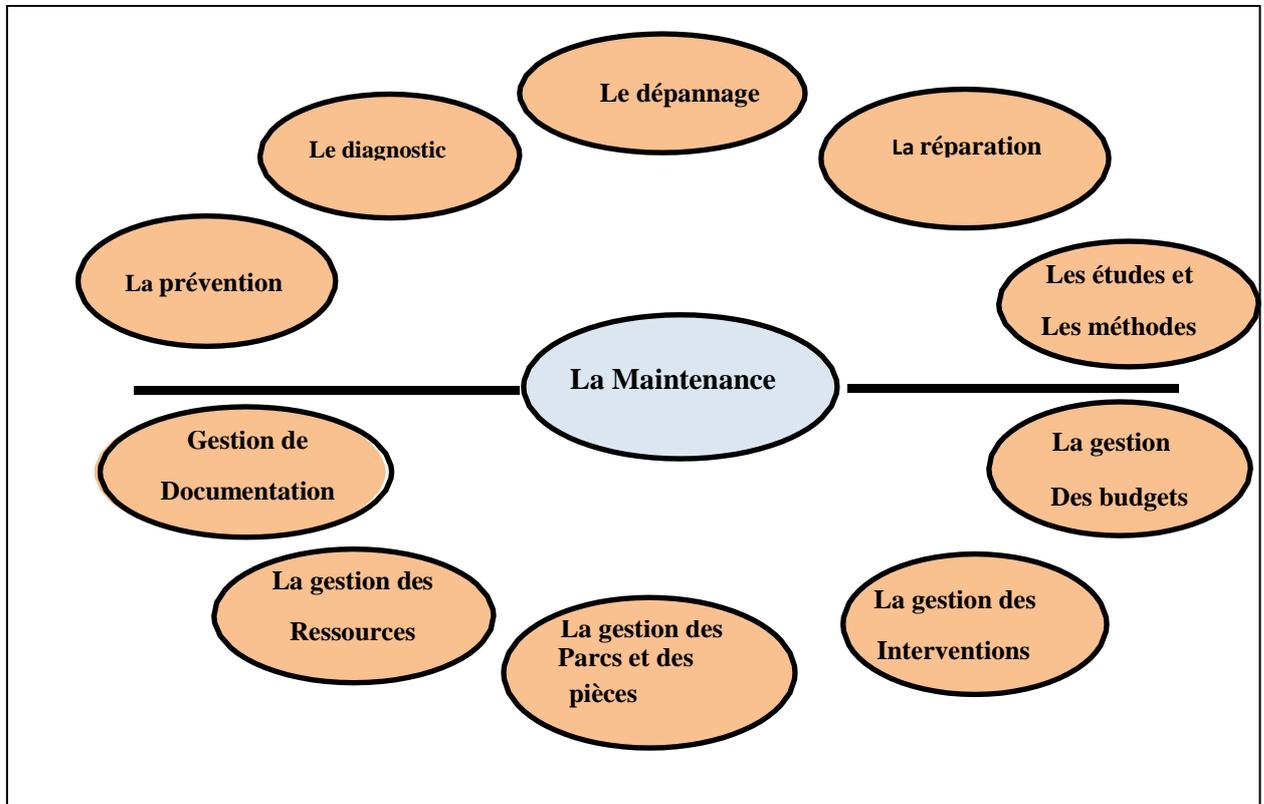


Figure II.26: Contenu de la fonction maintenance [14]

II.6.3 Management de maintenance

Le management de la maintenance est à la charge d'une (ou plusieurs) personne désignée dont les responsabilités et autorité doivent être définies. [13]

Il appartient au management et aux responsables de:

- Définir les profils d'emploi nécessaires à l'accomplissement de la mission de la fonction maintenance.
- Gérer les ressources disponibles en interne dans cet esprit et en particulier de prendre des dispositions pour assurer la formation, la qualification et l'habilitation du personnel en vue de :
 - ✓ lui permettre d'assurer les tâches de maintenance avec un optimum d'efficacité.
 - ✓ s'assurer que les règles de sécurité sont connues et mises en œuvre.
 - ✓ être conforme aux exigences réglementaires en matière d'habilitation.

II.6.4 Activités de maintenance

+ inspection

C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

+ Surveillance

C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien. La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

+ Réparation

Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

+ Dépannage

Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

+ Amélioration

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

+ Modification

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

+ Révision

Ensemble complet d'examen et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

+ Reconstruction

- Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.
- La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. [19]

II.6.5 Types de la maintenance

La politique de maintenance peut être répertoriée en deux grandes catégories la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est la maintenance qui intervient suite à la défaillance du système alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système est encore en fonctionnement. Le recours à l'une ou à l'autre de ces politiques diffère suivant l'élément considéré mais aussi le type de structure, la politique d'exploitation et de suivi, les coûts, la disponibilité de l'information, etc.

Dans la figure nous présentons les différentes politiques suivant le type de maintenance étudiée. Alors que la mise en place d'opérations correctives ne dépend que de l'occurrence d'une panne, les maintenances préventives peuvent être programmées en fonction de différents paramètres. [19]

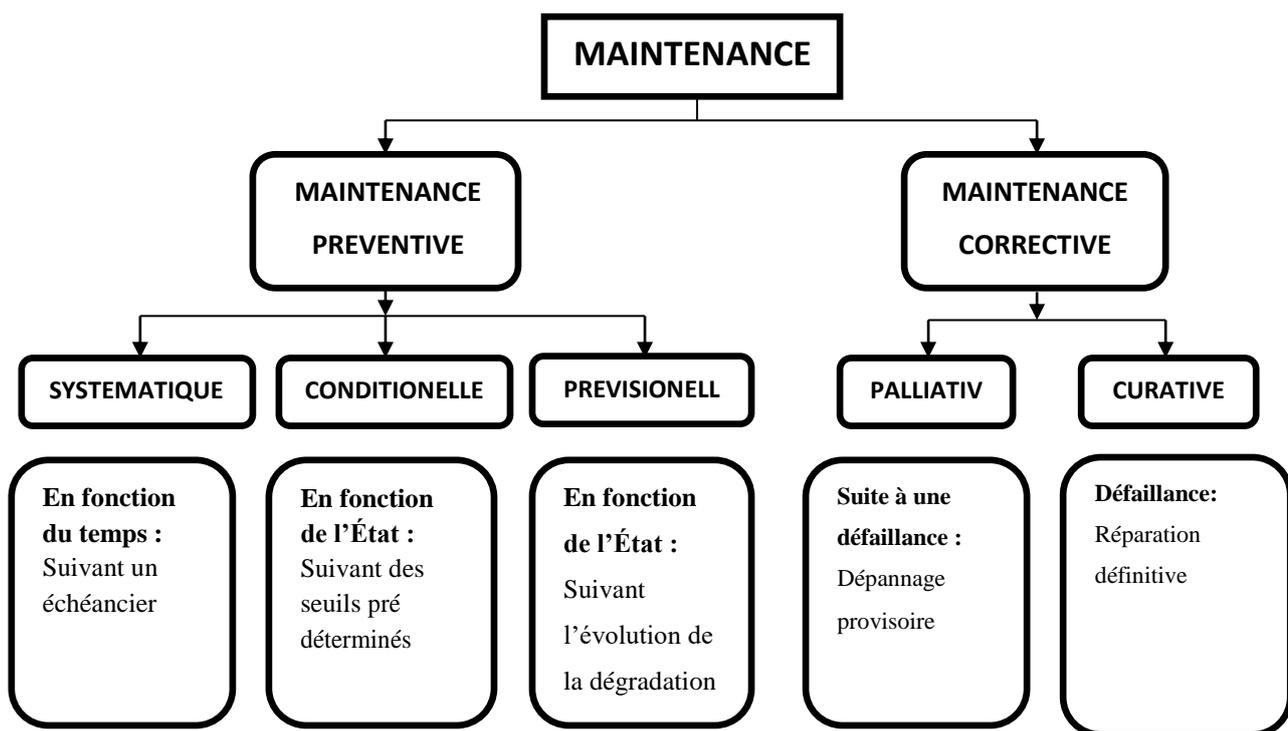


Figure II.27: Les types de maintenance

II.6.6 Différentes types de maintenance

a) Maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du bien.

C'est une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

Elle doit permettre d'éviter les défaillances du matériel en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter. [15]

Il existe différents types de maintenance préventive :

❖ maintenance préventive systématique

La maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc..).

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle. [15]

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

La maintenance préventive systématique, schématisé par la figure, se traduit donc par des interventions planifiées qui consistent à nettoyer, réparer ou remplacer périodiquement un organe sans contrôle préalable de l'équipement. [15]

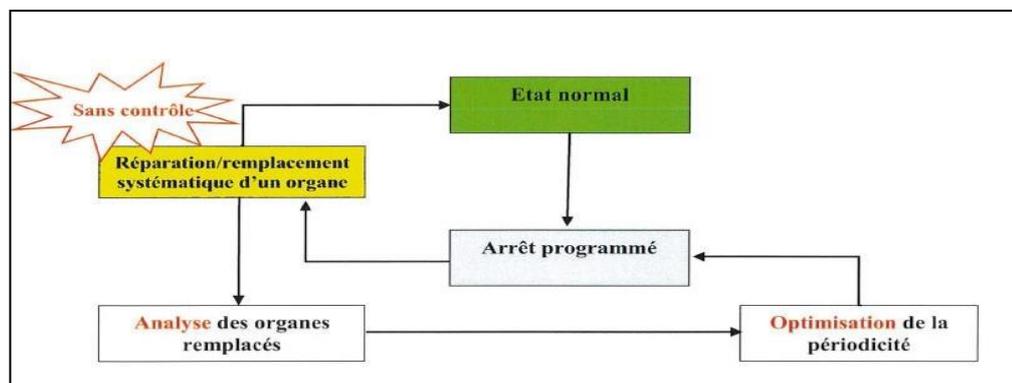


Figure II.28: Cycle de maintenance préventive systématique [15]

❖ maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue. [15]

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- ✚ Le niveau et la qualité de l'huile.
- ✚ Les températures et les pressions.
- ✚ La tension et l'intensité du matériel électrique.
- ✚ Les vibrations et les jeux mécaniques.
- ✚ Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis, il est rentabilisé rapidement.

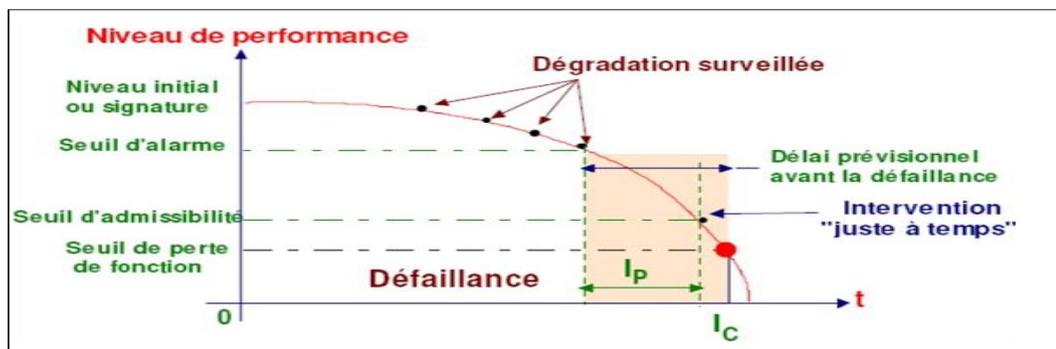


Figure II.29: Schématisation de la maintenance préventive conditionnelle [15]

❖ maintenance préventive prévisionnelle

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien.

La maintenance préventive prévisionnelle, consiste à extrapoler la courbe de dégradation d'un organe pour prévoir une intervention. [15]

❖ Objectifs de maintenance préventive

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

b) Maintenance corrective

C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et qui est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

La maintenance corrective est souvent perçue comme la forme primaire de la maintenance car l'intervention a lieu « en urgence » une fois la défaillance survenue. La figure II.30 montre la logique de cette politique de maintenance qui est assez simple : lorsqu'une machine est défectueuse, il faut la réparer, ce qui est sous-entend que si elle fonctionne, on n'y touche pas.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité et/ou qualité des services rendus. [12]

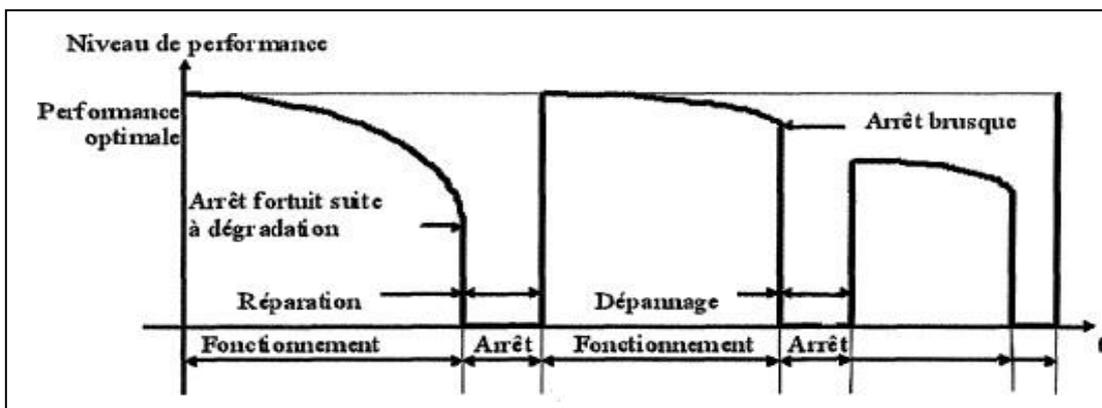


Figure II.30: Schématisation de la maintenance corrective [12]

Il existe deux types de maintenance corrective: la maintenance curative et la maintenance palliative.

❖ Maintenance curative

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Elle se caractérise par la recherche des causes initiales d'une défaillance en vue de réparer l'équipement. Cette remise en état du système est une réparation durable. [18]

❖ Maintenance palliative

Opération destinée à remettre un équipement dans un état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. L'intervention a un caractère provisoire dans le sens où elle nécessitera forcément une intervention ultérieure.

II.6.7 Niveaux de la maintenance

Les niveaux de maintenance sont définis en fonction de la complexité des travaux. L'AFNOR identifie 5 niveaux de maintenance dont en précise le service voir tableau II.3.

Tableau II.3: Les niveaux de maintenance

Niveau	Types de travail	Personnel concerné	Exemples
1	Réglages simples - pas de démontage ni ouverture	Exploitant du bien	Remise à zéro d'un automate après arrêt d'urgence
2	Dépannage par échange standard - opérations mineures de maintenance préventive	Technicien habilité	Changement d'un Relais - contrôle de fusibles - réenclenchement de disjoncteur
3	Identification et diagnostic de pannes - réparation par échange standard - réparations mécaniques mineures - maintenance préventive (par ex. réglage ou réaligement des appareils de mesure)	Technicien Spécialisé	Identification de l'élément défaillant, recherche de la cause, élimination de la cause, remplacement
4	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction - réglage des appareils de mesure	Équipe avec encadrement technique spécialisé	Intervention sur matériel dont la remise en service est soumise à qualification
5	Rénovation	Moyens proches	Mise en conformité

	- reconstruction - réparations importantes	de la fabrication	selon réglementation d'équipements lourds
--	--	-------------------	--

II.7 Plan de Maintenance Préventive du circuit d'alimentation

Il s'agit d'un schéma appliqué par un groupe spécialisé pour la maintenance la circuit d'alimentation afin de maintenir et garantir une durée de vie plus longue et assurer de bonnes performances pour réduire le pourcentage des pannes et par conséquent la baisse des couts voir tableau II.4.

Tableau II.4: Plan de Maintenance Préventive (PMP) du circuit d'alimentation de tramway

Description des opérations	I.E.O
Nettoyage des rails	Tous les jours
Vérification Gaz SF6	Mensuel
Vérification huile de transformateur	tous les 6 mois
Graissage de DER	chaque année
Vérifier l'absence de trce de fuite d'huile	tous les 6 mois
Vérifier l'absence de bruit, ou odeur inhabituelle	tous les 6 mois
Procéder à un nettoyage des traversées du transformateur	tous les 6 mois

II.8 Opérations d'interventions de la maintenance

II.8.1 Interventions dans les ateliers sur site

a) Maintenance préventive des transformateurs HTB/HTA

Pour effectuer la maintenance de cet équipement, la première étape consiste à effectuer le nettoyage des chaines d'isolation afin d'éviter des contournements qui peuvent mettre sous tension accidentelle la carcasse métallique du transformateur.

La deuxième étape consiste à effectuer le test du relais Buchholz. Cet équipement est un dispositif de sécurité monté sur les transformateurs à bain d'huile ; il est utilisé comme dispositif de protection sensible aux évènements qui se produisent lors d'un défaut diélectrique à l'intérieur de l'équipement.

La troisième étape consiste à effectuer un test Bushing sur les transformateurs de courants qui peuvent être dans la cuve principale ou montée extérieurement. Et la dernière étape consiste à effectuer le test de masse cuve qui a pour objectif de vérifier l'isolement de la carcasse métallique du transformateur.

b) Maintenance préventive des disjoncteurs 60kV

Pour cet équipement il s'agit dans un premier temps à interrompre l'alimentation 60 kV (de la partie puissance) et 127V (pour la partie commande). Et la deuxième étape consiste à désarmer la partie mécanique pour permettre l'intervention en toute sécurité des agents.

Pour ce qui concerne les opérations de maintenance, les opérations suivantes sont effectuées : [8]

- Appoint de gaz SF₆ à une pression en fonction des Caractéristiques du constructeur.
- Nettoyage et graissage des parties mécaniques.
- Contrôle de serrage des connexions de la partie commande.
- Simulation des défauts de la partie puissance et commande.



Figure II.31: Maintenance des disjoncteurs

c) Maintenance préventive des sectionneurs 60kV

La maintenance de cet équipement consiste à utiliser dans un premier temps un dégrippant WD-40 qui pénètre en peu de temps dans les zones difficiles à atteindre et desserre rapidement les fixations grippées ainsi que les pièces mobiles bloquées ou rouillées. La deuxième étape consiste à appliquer de la graisse industrielle pour éviter la casse et l'échauffement des parties mobiles en contact.



Figure II.32: Maintenance préventive des sectionneurs

d) Maintenance préventive des cellules HTA

A l'intérieur de ces cellules, nous avons des disjoncteurs 20kV. Avant toute opération de maintenance, il faut dans un premier temps interrompre l'alimentation 60 kV (de la partie puissance et 127V (pour la partie commande) puis débriquer le disjoncteur. Par la suite nous utilisons le dégrippant et la graisse industrielle décrit précédemment. La deuxième étape consiste à utiliser un équipement dénommé TM1800 pour la mesure du temps d'ouverture et de fermeture des pôles du disjoncteur tout en simulant des défauts afin d'observer le comportement du disjoncteur.



Figure II.33: Maintenance préventive des cellules

II.8.2 Interventions sur la voie ferrée

a) Interventions sur les rails

L'entreprise d'exploitation de tramway "SETRAM " est doté d'un véhicule railroute, il est construit sur la base d'un véhicule Mercedes-Benz UNIMOG U400 Euro 5 (voir figure II.34). Le passage de la version route en rail-route adapté pour le ferroviaire se fait en parfaite autonomie. Le véhicule est conçu pour le transport des équipes sur voies ferrées pour réaliser différents travaux de maintenance sur les infrastructures ferroviaires :

- Pulvérisation de produits herbicides.
- Débroussaillage voies / ballasts.
- Nettoyage des rails.
- Grue de manutention.



Figure II.34: Véhicule railroute Mercedes-Benz UNIMOG U400 Euro

b) Interventions sur l'environnement des rails (courants vagabonds)

Dans les installations ferroviaires DC, le courant de traction passe par la caténaire pour alimenter la locomotive, et son retour vers les sous stations se fait par le rail. Ce dernier est un élément conducteur électrique qui a une mauvaise isolation avec le sol, donc le sol sera le chemin du retour du courant involontairement. Pour les tramways roulant sur pneus, le retour du courant se fait dans le troisième rail via un frotteur situé au-dessous des bogies. Le courant vagabond est particulièrement néfaste au bon vieillissement des Installations, car ils engendrent la corrosion des structures métalliques enterrées à proximité des voies et des sous stations de traction. Une meilleure isolation des rails du sol réduit les courants vagabonds, mais peut conduire à l'apparition des potentiels électriques de contact dangereux pour les personnes. Pour assurer la

protection du public et du personnel, les potentiels électriques des rails de roulement ne doivent pas dépasser les limites imposées dans la (Norme EN 50122-1 (120 V)).

Le contrôle de la tension rail-sol doit être surveillé d'une manière permanente et des contacteurs et autre élément de protection de mise à la terre automatisé seront placés à proximité des sous stations ou à toute endroit identifié par des modèles et simulations électrique (détection de potentiel rail-sol élevé en fonction d'une distance). [5]

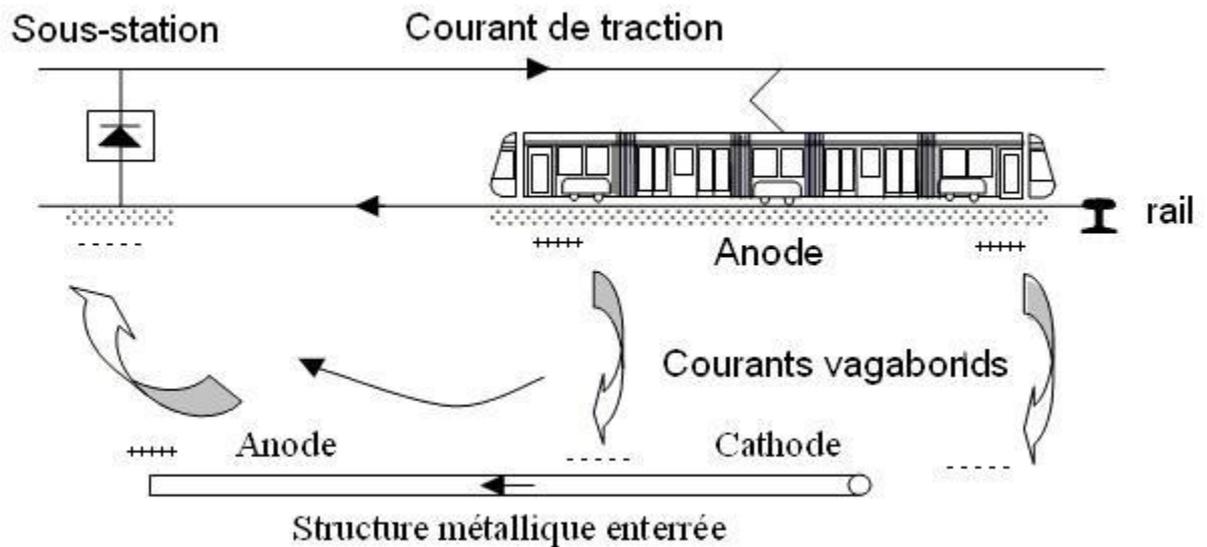


Figure II.35: Chemin de circulation des courants vagabonds

II.9 Fishier de Suivi de maintenance du système d'alimentation de tramway

Nous avons suivi un stage pratique de 15 jours et nous avons recensé plusieurs interventions de maintenance sur le tramway. La période visée s'étale sur 12 mois à partir du janvier 2021 jusqu'à décembre 2021.

Nous avons concentré beaucoup plus notre travail sur les pannes électrique dans la circuit d'alimentation constatées sur les bons d'incidents du bureau des méthodes concernant seulement cette période comme indiqué sur le tableau II.5. Le fichier décrit les détails des défauts et les interventions réalisés sur le circuit d'alimentation.

Tableau II.5: Fichiers de suivi de maintenance de système d'alimentation

Date de Défaillance	Véhicule	Défaut / Avarie	Catégorie	Intervention	Date remise en service	Temps d'intervention	Nre Intervenants	Temps total
6/1/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD3)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	6/1/2021	0.5	2	1
20/2/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD3)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	20/2/2021	0.5	2	1
2/4/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD3)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	2/4/2021	0.5	2	1
2/5/2021	Coffre mise en parallèle (CMP)	Défaut CMP	2	Séchage et vérification des fils	2/5/2021	2	3	6
30/5/2021	Alimentation sans interruption (ASI)	Défaut chargeur de batterie	3	Mode by pass	30/5/2021	2	2	4
30/5/2021	Alimentation sans interruption (ASI)	Défaut chargeur de batterie	3	Pdr	30/5/2021	2	2	4
31/5/2021	Alimentation sans interruption (ASI)	Défaut de batterie	2	Changer de batterie	31/5/2021	1	2	2
4/6/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD3)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	4/6/2021	0.5	2	1
22/6/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD2)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	22/6/2021	1	2	2
24/6/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD2)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	24/6/2021	1	2	2
30/6/2021	Coffre mise en parallèle (CMP)	Défaut CMP	3	Séchage et vérification des	30/6/2021	2	3	6

				fils				
17/7/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD3)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	17/7/2021	0.5	2	1
15/8/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD4)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	15/8/2021	0.5	2	1
13/10/2021	PHT Disjoncteur HTA (QD3)	Problème de tension	1	Refermer de Disjoncteur	13/10/2021	0.5	2	1
28/11/2021	Coffre mise en parallèle (CMP)	Défaut CMP	3	Séchage et vérification des fils	28/11/2022	2	3	6
15/12/2021	Alimentation sans interruption (ASI)	Défaut de batterie	2	Changer de batterie	15/12/2021	1	2	2

II.10 Suivi de système d'alimentation électrique

Travers le plan de maintenance préventive de CITAL Ouargla, nous notons qu'il est basé sur un plan bien pensé qui maintient le fonctionnement du véhicule tramway de manière à éviter l'apparition de pannes comme indiqué dans le tableau II.4, Pour cette raison Le processus de maintenance est effectué pendant des périodes de temps fixes comme indiqué dans la figure suivante.



Figure II.36: Plan de maintenance préventive

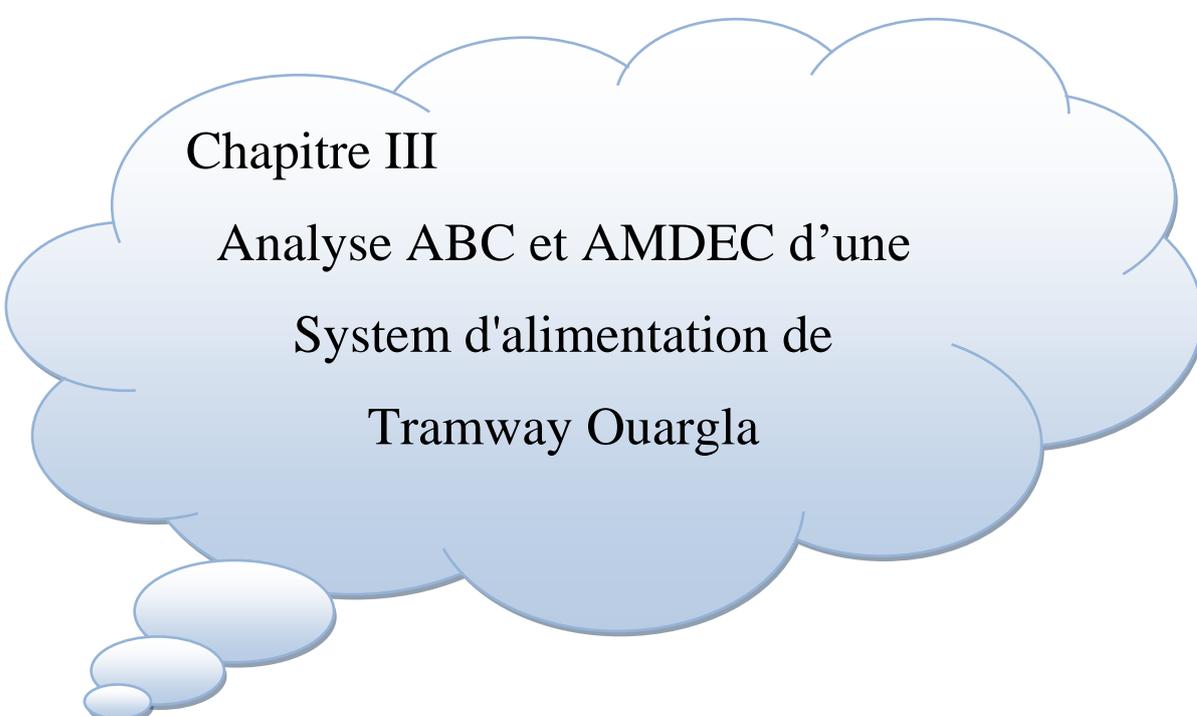
A travers le plan de maintenance préventive (PMP) du circuit d'alimentation, nous concluons qu'il existe de nombreuses opérations de maintenance dans le niveau d'un groupe d'éléments de circuit de sorte que chaque processus est limité à un temps spécifique, dont la violation conduit à la survenance d'un danger.

Ces processus suivent un plan d'action qui varie dans leur adoption entre le temps et les distances sont réduits en fonction de l'appareil à entretenir.

II.11 Conclusion :

La maintenance est une opération que nous effectuons sur l'équipement pour assurer une durée de vie plus longue et une efficacité élevée de l'équipement aux coûts les plus bas, et la maintenance se divise en trois types : Correctif, préventif et amélioration. Il contient également plusieurs opérations et différents niveaux ces opérations s'appliquent aux éléments de circuit en général et en particulier à travers un plan spécifique et périodique, généralement il est déterminé par la distance parcourue ou le nombre d'heures de travail.

Chaque opération de maintenance a un code. L'opération est enregistrée dans le fichier de l'équipement, il s'agit de réaliser des statistiques de pannes et de les étudier en vue de les éliminer.



Chapitre III

Analyse ABC et AMDEC d'une
System d'alimentation de
Tramway Ouargla

III.1 Introduction

La fiabilité est un concept qui intéresse de nombreux domaines de l'activité humaine: économique, scientifique, technique et industriel... Elle est liée à des notions de sécurité et de sûreté de fonctionnement, de qualité, d'efficacité et de performance. Cette théorie a comme objectif d'étudier l'aptitude de dispositifs techniques (machines, équipements, composants, éléments...) à accomplir une fonction requise, dans des conditions données et pendant une durée donnée.

Nous admettons qu'au départ chaque dispositif est en état de fonctionnement. Les défaillances se produisant de façon aléatoire, il est logique de faire appel au calcul des probabilités pour résoudre des problèmes de fiabilité.

III.2 Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD) des systèmes

- **Fiabilité (Reliability):** Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. (Norme NF EN 13306). [21]
- **Maintenabilité (Maintainability):** Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. (Norme NF EN 13306). [21]
- **Disponibilité (Availability):** Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. (Norme NF EN 13306). [21]

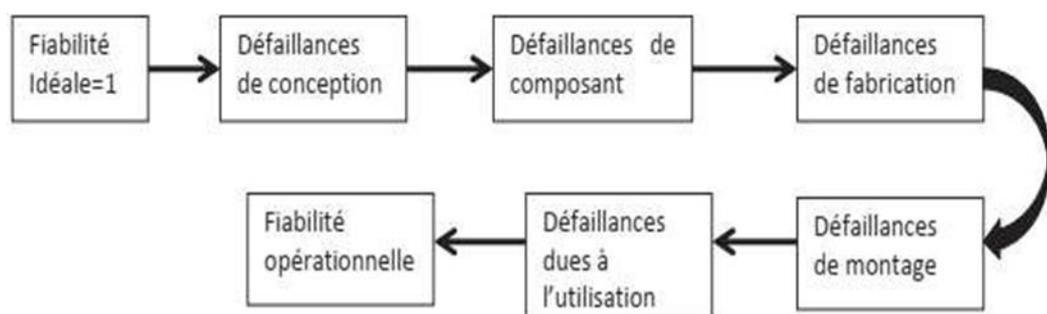


Figure III.1: Optimisation de la fiabilité

III.2.1 Défaillance de matériel ou système

La défaillance est une perte partielle ou totale des propriétés d'un Élément qui diminuent significativement et entraîne la perte totale de sa capacité de fonctionnement. [22]

III.2.2 Indices de fiabilité

Admettons qu'à la date $t = 0$ un élément est mis en fonctionnement et qu'à la date ($t = T$) il tombe en panne. La durée de vie T de cet élément est assimilée à une variable aléatoire non négative, vu que la défaillance est la conséquence de divers facteurs aléatoires. La fonction de répartition $F(t) = P(T \leq t)$ de la variable aléatoire w représente la probabilité que l'élément tombe en panne avant l'instant T . La fonction de fiabilité, notée $R(t)$, représente la probabilité que l'élément fonctionne sans défaillance dans l'intervalle $[0, t]$. Elle est donnée Par: [22]

$$R(t) = p(T > t) = 1 - F(t)$$

La densité de probabilité $f(t)$ est la fonction dérivée de $F(t)$, définie par :

$$f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t} = -\frac{\partial R(t)}{\partial t}$$

Elle représente la probabilité de défaillance de l'élément à l'instant t . L'espérance de la variable aléatoire w représente la durée de vie moyenne de L'élément:

$$E(t) = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt$$

On l'appelle aussi moyenne des temps de bon fonctionnement (MTTF) lorsqu'il s'agit d'un équipement réparable:

- **Taux de d' défaillance**

Le taux de défaillance, noté $\lambda(t)$, est un indicateur de fiabilité qui représente : [23]

– Soit un taux supposé constant de défaillances par unité d'usage exprimé sous la forme générale:

$$\lambda = \frac{\text{esd'effaillancde nombre}}{\text{usage d'durée}}$$

– Soit la fonction $\lambda(t)$ qui représente une proportion de survivants à l'instant t , tirée d'un échantillon.

Le taux de défaillance s'exprime le plus souvent en « pannes par heure ».

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u) du}$$

D'où $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Ou $F'(t) = f(t)$

- **Matériel réparable**

C'est un matériel qui peut être remis en fonctionnement après avoir subi une défaillance, La vie d'un tel matériel peut être écrite à l'aide de ce chronogramme: [24]

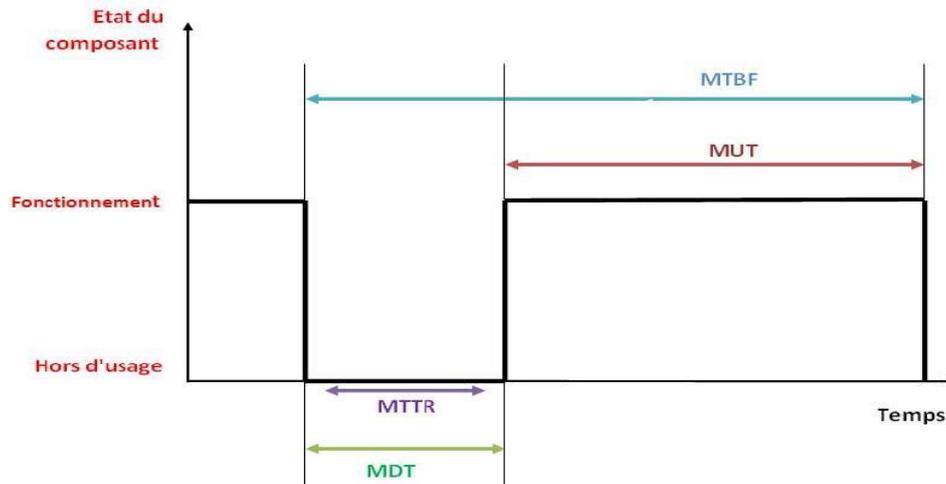


Figure III.2: Chronogramme d'un équipement réparable

III.2.3 Les indicateurs opérationnels de FMD [21]

- **MTTF:** (Mean time of first failure) Temps moyen avant-première défaillance
 - **MTBF:** (Mean time between failure) Temps moyen entre deux défaillances successives
 - **MDT/MTI :** (Mean down time) Temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre
 - **MUT:** (Mean up time) Temps moyen de disponibilité
 - **MTTR:** (Mean time to repair) Temps moyen de réparation
- MTBF: moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF correspond en fait au MUT.
- La traduction que l'on fait de la MTTR (moyenne des temps techniques de réparation MTTR) correspond en fait MDT.

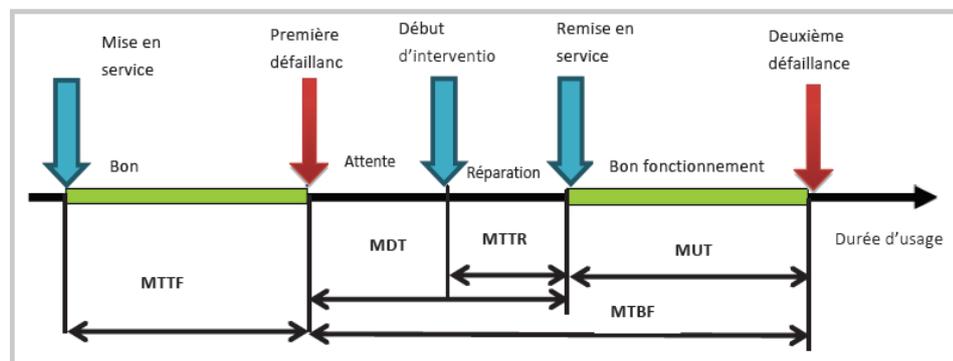


Figure III.3: les états successifs que peut prendre un système réparable

III.2.4 Durée de vie T

T est une variable aléatoire caractérisant le passage aléatoire d'un système d'un état de fonctionnement à un état de défaillance selon une loi de probabilité qui peut être connue ou inconnue, Une autre définition: c'est la durée pendant laquelle une entité (bien) accomplit une fonction requise dans des conditions d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint.

III.2.5 Courbe en baignoire

La courbe en baignoire Figure III.4 donne l'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$, en fonction de l'âge du matériel. Elle comprend (pour un matériel mécanique) trois phases, chacune avec un sens de variation différent.

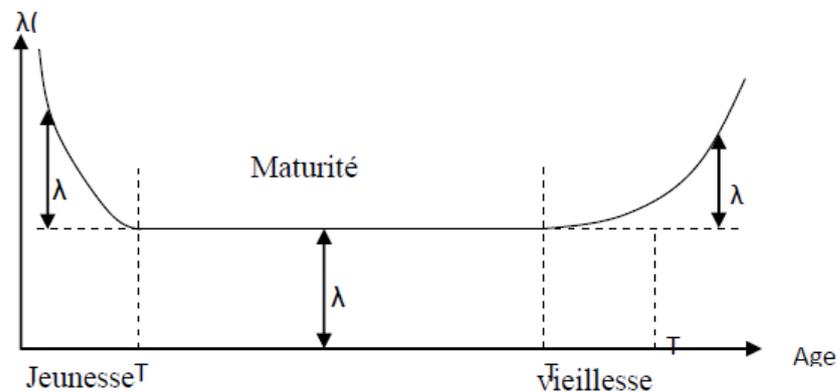


Figure III.4: Représentation graphique du taux de défaillance (courbe en baignoire)

➤ **Phase I :**

Période de jeunesse où $\lambda(t)$ est décroissant qui est caractérisé par des pannes précoces dites de jeunesse (défauts de conception, défauts de fabrications...). [20]

➤ **Phase II :**

Période de maturité où $\lambda(t)$ est sensiblement constant $\lambda(t) = \lambda$ qui correspond à la vie utile de l'élément, Les défaillances survenant pendant cette période sont dites accidentelles. [20]

➤ **Phase III :**

Période de vieillesse où $\lambda(t)$ est croissant, qui correspond à la période d'usure de l'élément. [20]

III.2.6 Modèles paramétriques de fiabilité

a) Loi exponentielle

C'est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant.

Elle décrit le temps 'écoule jusqu'à une défaillance ou l'intervalle de temps entre deux défaillances successives.

Elle est définie par le taux de défaillance λ ou par la moyenne des temps de bon fonctionnement $\frac{1}{\lambda}$. [22]

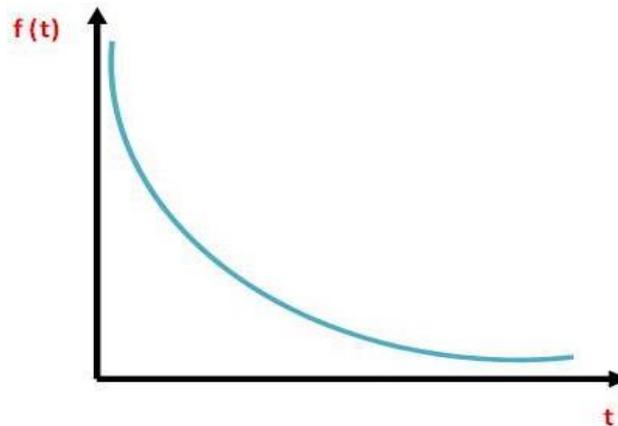


Figure III.5: Densité de probabilité de la loi exponentielle

- **Densité de probabilité** : $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $t \geq 0, \lambda > 0$
- **Fonction de fiabilité** : $R(t) = e^{-\lambda t}$ $t \geq 0, \lambda > 0$
- **Fonction de réparation** : $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ $t > 0$
- **Taux de défaillance** : $\lambda(t) = \lambda = \text{cst}$
- **Espérance** : $E(T) = \frac{1}{\lambda}$
- **Variance** : $V(T) = \frac{1}{\lambda^2}$

b) Loi de Weibull

- ✓ C'est une loi fréquemment utilisée en fiabilité des matériels mécaniques. Elle permet de représenter les différentes phases de la vie d'un matériel. Jeunesse, vie utile et vieillesse. Elle contient trois paramètres: γ , η et β .
- ✓ Le paramètre d'échelle η : $\eta > 0$: Ce paramètre nous renseigne sur l'étendue de la distribution.
- ✓ Le paramètre de forme β : $\beta > 0$: Il est associé à la cinétique du processus observé.
- ✓ Si $\beta < 1$: Le taux de défaillance décroît dans le temps. Ce qui correspond à la période de jeunesse des matériels dans la courbe en baignoire.
- ✓ Si $\beta > 1$: Le taux de défaillance est croissant. Ce qui correspond à la période de vieillesse ou d'usure.

Remarque: Pour $\beta > 3$ la loi de Weibull se rapproche de la loi Normale. [23]

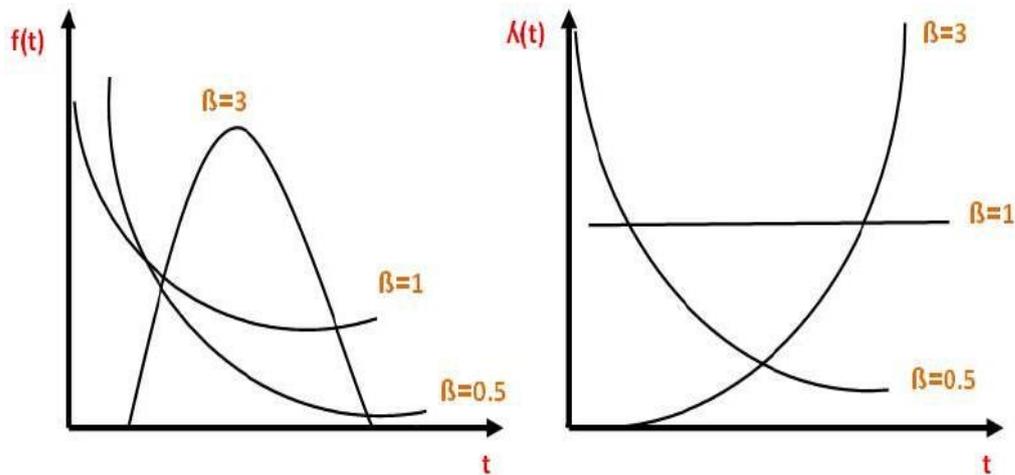


Figure III.6: Influence de β sur la densité de probabilité et le taux de défaillance

- **Densité de probabilité:** $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad t > \gamma$
- **Fonction de répartition:** $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad t > \gamma$
- **Fonction de fiabilité:** $R(t) = R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad t > \gamma$
- **Espérance:** $E(T) = \int_0^{+\infty} R(t) dt = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

Tel que: $\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$

- **Taux de défaillance:** $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

III.3 Opérations sur la fiabilité des systèmes

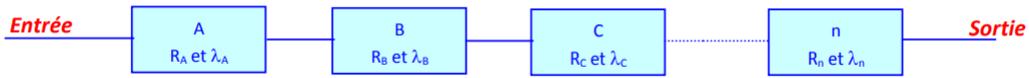
III.3.1 Montage série

Dans ce cas, chaque composant est indispensable au fonctionnement du système. La défaillance de n'importe lequel entraîne la défaillance des tous les systèmes. La fiabilité du système est exprimée de la manière suivante

$$R(t)_{\text{systeme}} = \prod_{i=1}^n R(t)_{\text{composant } i}$$

On démontre aisément à partir de la formule précédente l'expression du taux de défaillance instantanée du système en fonction de ceux des composants:

$$\lambda(t)_{système} = \sum_{i=1}^n \lambda(t)_{composant i}$$



Nota 1: Si les "n" composants sont identiques avec une même fiabilité R la formule sera la suivante: $R(s) = R^n$

Nota 2: Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule: $R(s) = (e^{-\gamma at}).(e^{-\gamma bt}).(e^{-\gamma ct}).\dots.(e^{-\gamma nt})$

Avec: $MTBF = \frac{1}{\gamma a + \gamma b + \gamma c + \dots + \gamma n}$

Si en plus, les composants sont identiques: $\lambda a = \lambda b \lambda c = \dots = \lambda n = \lambda$

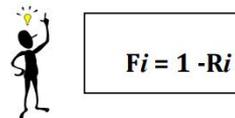
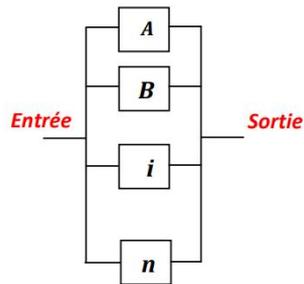
$MTBF = \frac{1}{n \cdot \gamma}$ Et alors: $R(s) = \exp[- n\gamma t]$

III.3.2 Montage parallèle

Dans ce cas le système comprenne i composant. La défaillance du système n'a lieu que si tous les composants sont défaillants, Le système présente alors une ou plusieurs redondances.

La fonction cumulée de défaillance du système s'exprime alors en fonction des fonctions cumulées de défaillance des composants:

$$F(t)_{système} = \prod_{i=1}^n F(t)_{composant i}$$



Fi représentant la fiabilité associée.

On en déduit la fiabilité du système:

$$R(t)_{système} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R(t)_{composant i})$$

$F(s) = (Fa) \times (Fb) \times (Fc) \dots \times (Fn) = (1-Ra) \times (1-Rb) \times (1-Rc) \times \dots \times (1-Rn)$

La fiabilité R(s) de l'ensemble est donnée par la relation:

$R(s) = 1 - (1-Ra) \times (1-Rb) \times (1-Rc) \times \dots \times (1-Rn)$

Nota: Si les "n" composants sont identiques ($R=R_1=R_2=R_3=...R_n$) et ont tous la même fiabilité **R**, l'expression devient: $R(s) = 1 - (1 - R)^n$

III.4 Méthodes d'optimisation de la maintenance

Dans le contexte actuel d'ouverture des marchés, les entreprises doivent améliorer leur compétitivité et donc leur productivité. « Produire plus pour moins cher » c'est avoir une meilleure disponibilité des moyens de production et c'est dépenser moins.

Or la maintenance influe sur les deux facteurs: une maintenance mieux ciblée, c'est moins d'indisponibilité; une maintenance mieux maîtrisée, c'est moins de dépenses, Au vu de l'importance du processus maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées permettent d'aider les responsables de maintenance à construire ou à modifier les stratégies de maintenance telle que la méthode AMDEC, le diagramme de Pareto. [23]

III.4.1 Application de fiabilité sur le système d'alimentation

A partir de statistiques collectées sur terrain, nous avons procédé au calcul des temps de bon fonctionnement (TBF) et temps techniques de réparation (TTR) pour le circuit d'alimentation du tramway d'ouargla. Nous avons utilisé la loi exponentielle.

Remarque : le réseau d'alimentation électrique du tramway fonctionne 24/24 heure.

Le (tableau III.1) présente les statistiques des pannes et les calculs de (TBF) et (TTR).

Tableau(III.1): Calcul TBF et TTR sur le système d'alimentation

N° panne	date et heur de début de panne		date et heur de fin de panne		TBF (h)	TTR (h)
01	06/01/2021	09:00	06/01/2021	10:00	520	0.5
02	20/02/2021	10:30	20/02/2021	11:30	1080	0.5
03	02/04/2021	14:20	02/04/2021	15:20	1008	0.5
04	02/05/2021	08:30	02/05/2021	11:30	720	2
05	30/05/2021	09:00	30/05/2021	12:00	696	2
06	30/05/2021	14:00	30/05/2021	15:00	5	2
07	31/05/2021	08:15	31/05/2021	10:15	24	1
08	04/06/2021	15:30	04/06/2021	16:30	120	0.5

09	22/06/2021	10:00	22/06/2021	12:00	456	1
10	24/06/2021	09:30	24/06/2021	10:30	48	1
11	30/06/2021	08:00	30/06/2021	11:00	144	2
12	17/07/2021	11:30	17/07/2021	13:30	195	0.5
13	15/08/2021	09:00	15/08/2021	10:00	672	0.5
14	13/10/2021	10:30	13/10/2021	11:30	1416	0.5
15	28/11/2021	15:20	28/11/2021	17:20	1104	2
16	15/12/2021	01:15	15/12/2021	12:15	408	1

Le calcul de **MTBF**

$$\sum \text{TBF} = 520 + 1080 + 1008 + 720 + 696 + 5 + 24 + 120 + 456 + 48 + 144 + 195 \\ + 672 + 1416 + 1104 + 408 = 8616 \text{ h}$$

$$\text{MTBF} = \frac{\sum \text{TBF}}{\text{N}^\circ \text{ panne}} = \frac{8616}{16} = 538,5 \text{ h}$$

Taux de Défaillance λ :

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} = \frac{1}{538.5} = 0.001857 = 1.857 * 10^{-3} \text{ h}^{-1}$$

III.4.2 Taux de défaillance, fiabilité, défaillance et densité de probabilité

A partir des statistique mentionnés dans le tableau III.1, nous avons procédé au calcul du reste des paramètres principaux de la maintenance. Ainsi, le tableau III.2 montre les résultats du calcul de taux de défaillance, fiabilité, défaillance et densité de probabilité sur le système d'alimentation de tramway.

Tableau(III.2) : Taux de défaillance, fiabilité, défaillance et densité probabilité

N° Panne	T=TBF(h)	Densité f(t)	Fiabilité R(t)	R(t)%	Défaillance F(t)	F(t)%
01	5	$1.839 * 10^{-3}$	0.99	99%	0.01	01%
02	24	$1.708 * 10^{-3}$	0.96	96%	0.04	04%

03	48	$1.698*10^{-3}$	0.92	92%	0.08	08%
04	120	$1.486*10^{-3}$	0.80	80%	0.20	20%
05	144	$1.421*10^{-3}$	0.77	77%	0.23	23%
06	195	$1.292*10^{-3}$	0.70	70%	0.30	30%
07	408	$0.870*10^{-3}$	0.47	47%	0.53	53%
08	456	$0.796*10^{-3}$	0.43	43%	0.57	57%
09	520	$0.707*10^{-3}$	0.38	38%	0.62	62%
10	672	$0.533*10^{-3}$	0.29	29%	0.71	71%
11	696	$0.509*10^{-3}$	0.27	27%	0.73	73%
12	720	$0.487*10^{-3}$	0.36	36%	0.74	74%
13	1008	$0.285*10^{-3}$	0.15	15%	0.85	85%
14	1080	$0.249*10^{-3}$	0.13	13%	0.87	87%
15	1104	$0.239*10^{-3}$	0.13	13%	0.87	87%
16	1416	$0.133*10^{-3}$	0.07	07%	0.93	93%

III.4.3 Graphiques des fonctions R(t), F(t), et f (t) en fonction du TBF

a) La fonction de fiabilité R(t)

➤ Commentaire :

La chute de la fiabilité signifie que le système a subi plusieurs arrêts dus à des défauts: de fabrication, conception, assemblage ou bien à un contrôle de qualité insuffisant.

De plus cette décroissance est due probablement a une mauvaise utilisation (non-respect des exigences de la construction) ou par l'absence d'une maintenance adéquate.

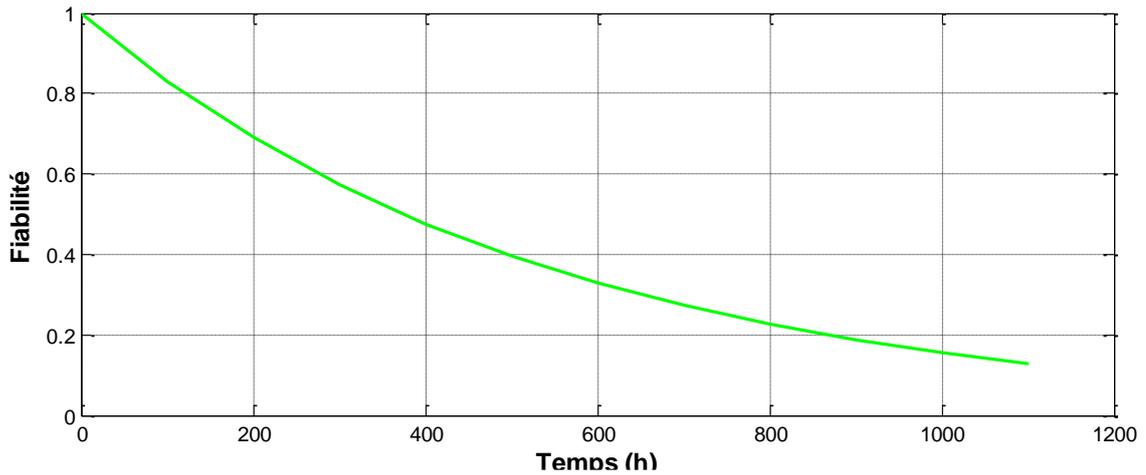


Figure III.7: Fiabilité de système d'alimentation

b) La fonction de réparation théorique $F(t)$

➤ Commentaire :

La courbe montre que la probabilité cumulée de défaillance est croissante, ce qui signifie que la system d'alimentation étudié à subi de plus en plus de problèmes électrique. Cela veut dire que plus on n'intervient pas à temps et plus le risque d'arrêts.

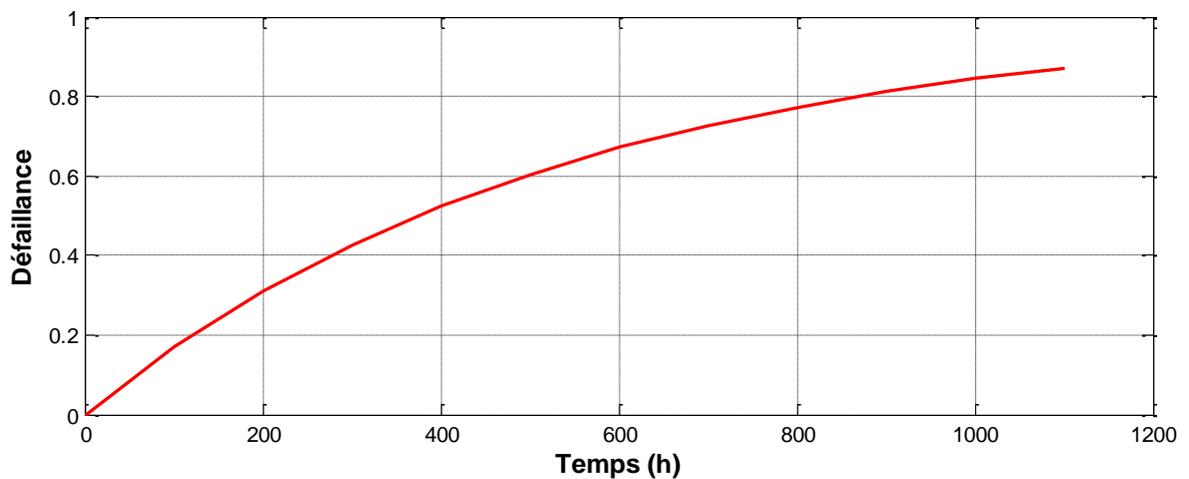


Figure III.8: Défaillance de système d'alimentation

c) La densité de probabilité $f(t)$

➤ Commentaire :

D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) diminue avec le l'évalution de TBF.

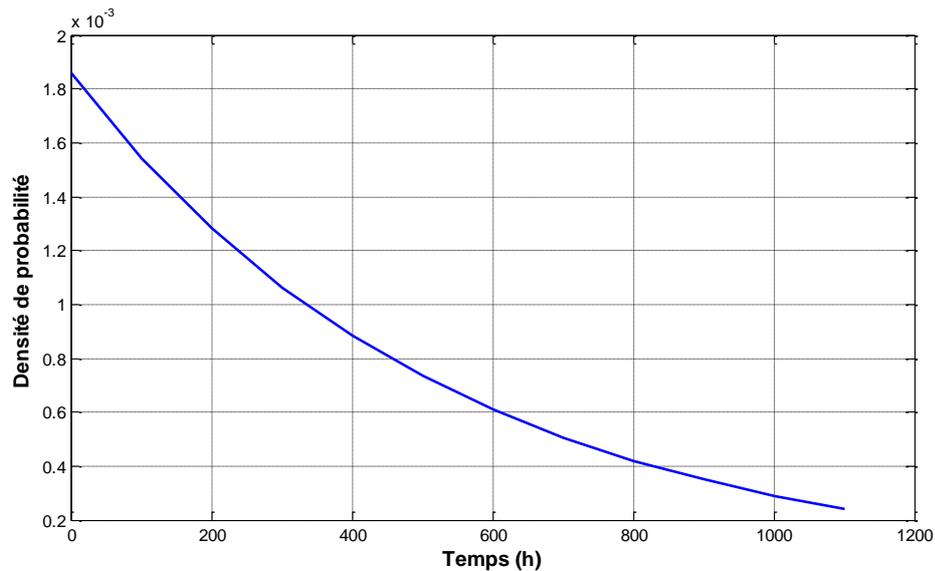


Figure III.9: Densité de système d'alimentation

III.4.4 Analyse des modes de défaillances de leurs effets et criticité (AMDEC)

a) Définition

L'AMDEC est une méthode qualitative et inductive visant à identifier les risques de pannes potentielles contenues dans un avant-projet de produit ou de système, quelles que soient les technologies, de façon à les supprimer ou à les maîtriser ab initio. Elle est normalisée par l'AFNOR : norme X 60-510 de décembre 1986. [23]

b) Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets

On distingue 2 types d'AMDEC [21] :

- 1) AMDEC de conception : Analyse prévisionnelle des défaillances
 - Amélioration de la conception
 - Définition de la maintenance
- 2) AMDEC de maintenance : Analyse des défaillances observées
 - Amélioration de la maintenance
 - Modification ponctuelle de la conception

c) Méthodologie d'une AMDEC

La méthodologie de l'analyse AMDEC s'effectue sur les 7 étapes suivantes:

1. Constitution d'un groupe de travail
2. Décomposition fonctionnelle du système

3. Evaluation des défaillances potentielles
4. Détermination des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs causes
5. Evaluation et notation de chaque cause de défaillance

- **Facteur « F »: probabilité d'apparition ou d'occurrence de la cause de la défaillance :**

Il s'évalue à partir des probabilités des causes par une note estimée de 1 (improbable) à 5 (fréquent). Il est parfois possible de faire correspondre ces indices à des valeurs chiffrées. Par exemple, estimer F en fonction du taux de défaillance λ exprimé en panne/heure suivant le tableau III.3.

Facteur « F » = 5 dans chaque éléments (Défaut) pour $\lambda = 1.857 \cdot 10^{-3}$.

Tableau III.3: Indices d'occurrence

Valeur du taux de défaillance λ en panne/heure	$\lambda < 10^{-6}$	$10^{-6} < \lambda < 10^{-5}$	$10^{-5} < \lambda < 10^{-4}$	$10^{-4} < \lambda < 10^{-3}$	$\lambda > 10^{-3}$
Estimation de l'indice d'occurrence (F)	1	2	3	4	5

- **Facteur « G »: gravité de la défaillance :** par une note estimée de 1 (mineur) à 5 (catastrophique). Suivant les systèmes, la gravité « relative » peut s'estimer sur plusieurs critères : sécurité des personnes, des biens, défauts de qualité, perte de disponibilité, pénalisation de la production, etc.

Nous avons sélectionné le facteur « G » des dysfonctionnements liés à ce système comme suit :

- « G » = 3 : une problème de la tension provoque la perte complete de la disponibilité de la production et une très faible sécurité des biens et qui ne pose pas de problème sur la sécurité du personel.
- « G » = 4: Un défaut de CMP provoque forte chute de la sécurité des personnels et des bins et une perte partielle de disponibilité de la production.
- « G » = 2 : Un défaut du chargeur de batterie ne provoque une grande problème sur la production et la sécurité, mais il présente un défaut de la qualité du relais du chargeur.
- « G » = 2 : un défaut de la batterie ne provoque une grande problème sur la production et la sécurité, mais il engendre une coupure du courant fournie par la totalité des batteries parcequ'ils sont reliés en série.

- **Facteur « D »: probabilité de non détection de la cause de la défaillance** : Il s'évalue à partir du mode de défaillance par une note estimée allant de 1 (la dégradation « qui prévient ») à 4 (défaillance soudaine).

On a sélectionné le facteur « D » pour les dysfonctionnements liés à ce système comme suit :

- « D » = 4 : le problème de la rupture de la tension du réseau est imprévisible
- « D » = 3 : le défaut du CMP est relativement imprévisible car on peut prévoir le défaut pendant la tombée des pluies.
- « D » = 4 : le défaut de la chargeur de batterie est imprévisible car le relais du chargeur est une pieces électronique très sensible.
- « D » = 2 : le défaut de batterie est relativement prévisible car il se caractérise par une durée limitée et la défaillance d'une seule batterie provoque la coupure totale du courant des batteries montées en série.

6. Calcul de criticité et hiérarchisation

- L'indice de criticité C est obtenu par : $C = F \times G \times D$

7. Déduction des actions correctives à mener

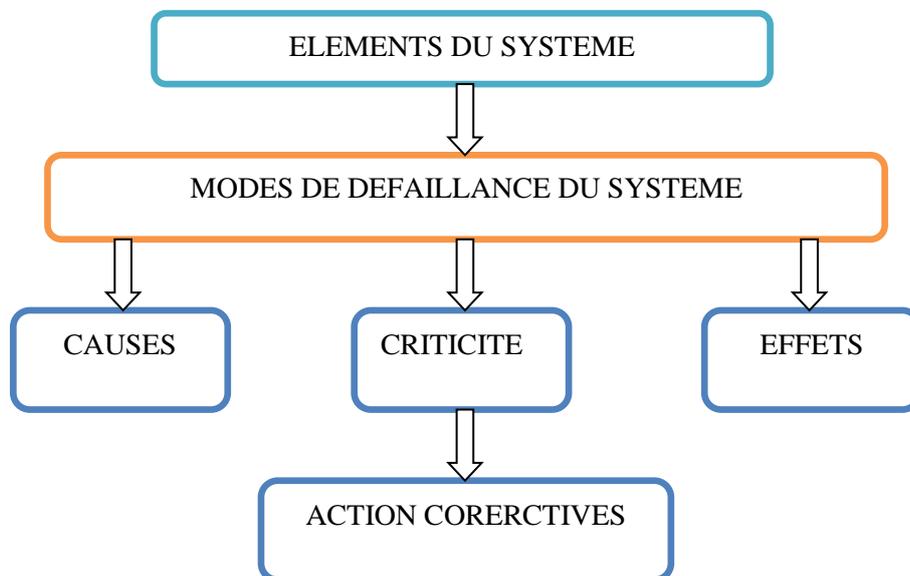


Figure III.10: Démarche AMDEC

III.4.5 Statistique des pannes du circuit d'alimentation

Le circuit d'alimentation enregistre plusieurs défauts qui affectent le fonctionnement des tramways, nous voulons réduire le temps qu'il faut pour les réparer et faciliter le processus de détection. Une campagne de collecte des statistiques des pannes est effectuée sur le site de

maintenance des tramways. Ainsi, des constatations des interventions sur la voie ferré. Nous utilisons donc la méthode AMDEC comme indiqué dans le tableau III.4:

Tableau III.4: La méthode AMDEC sur le système d'alimentation de tramway

Éléments	fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	effet	Mesures	Cotation de la criticité			
						F	G	D	C
Problème de tension	Vérifier la valeur de tension provenant de la source	électriques	Surtension (dépasse le seuil de configuration)	Coupure du courant électrique	Moyens de détection ou consignes de surveillance	5	3	4	60
Défaut CMP	Vérification le chambre CMP	hydraulique	Presence d'eau dans la chambre CMP	Coupure de courants électriques dans la section	Dispositif reconfiguration ou l'annuler	5	4	3	60
Défaut chargeur de batterie	Vérification du chargeur ou TGBT	électriques	Défaillance à relais	Coupure de la secoure d'énergie (absence de partie commande)	Dispositif de remplacement, reconfiguration	5	2	4	40
Défaut de batterie	Vérification TGBT ou tableau de batterie	électriques	Fin de la durée de batterie	Coupure de la secoure d'énergie (absence de partie commande)	Changement de batterie	5	2	2	20

III.4.6 Classement des problèmes rencontrés

Les actions menées sont décidées par le groupe de travail pour pouvoir éliminer tous points critiques. A partir de la valeur de la criticité, on peut classer les problèmes par ordre décroissant et les répartir en différentes classes (tableau III.5).

Tableau III.5: La criticité (G, O, D)

Valeur de la criticité	Politique de la maintenance
$C < 20$	Aucune modification, maintenance corrective
$20 \leq C < 40$	Amélioration des performances de l'élément, Maintenance préventive systématique
$40 \leq C < 60$	Surveillance particulière, maintenance préventive Conditionnelle
$60 \leq C < 80$	Remise en cause complète de la conception de préventive conditionnelle

III.4.7 Interprétation des résultats de l'analyse AMDEC

Ce travail a montré la faisabilité de conduire une méthode d'analyse dysfonctionnelle. Cette approche est basée sur l'analyse AMDEC. La mise en oeuvre d'une telle démarche montre sa contribution dans la réduction des défaillances. En effet elle permet :

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise.
- d'identifier les fonctions critiques pour le système.
- de définir la politique de maintenance pour le système et ses composants.

La criticité des conséquences de différentes fonctions critiques pour le système, a été appréciée selon des échelles de probabilité et de gravité. Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être portée.

L'exemple traité dans le cadre de ce travail a été développé suivant une méthode logique et structurée. Elle a permis de mieux maîtriser le système étudié tout en identifiant les maillons faibles.

III.4.8 Actions d'amélioration

Pour l'amélioration de l'alimentation du tramway, il faut concentrer les actions de maintenance sur la 1ère catégorie (causes ayant une criticité supérieure à 60) en appliquant une maintenance préventive systématique (contrôle, nettoyage, lubrification, ...) et maintenance conditionnelle (capteurs,...).

Pour la 2ème catégorie (causes ayant une criticité entre 20 et 60) il faut appliquer une maintenance systématique (changement des équipements périodiquement). Pour le reste d'équipements (causes ayant une criticité inférieure à 20), on peut appliquer une maintenance corrective.

III.4.9 Analyse de Pareto (ABC)

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables des majorités des effets, on peut alors faire un plan d'action sélectif qui s'attaque aux éléments essentiels. Le tableau III.6 montre les causes des pannes survenues sur le circuit d'alimentation électrique et ses statistiques sur une période d'une année.

Dans l'optimisation de l'action, on ne s'intéressant pas aux nombreux éléments qui ne sont responsables que d'une très petite minorité d'effets à éliminer.

En se basant sur les statistiques, on peut déterminer, par exemple :

- La minorité des équipements responsables de la majorité des coûts de maintenance.
- La minorité des défaillances responsables de la majorité des arrêts de production.
- La minorité des rechanges responsables de la majorité des coûts de possession en stocks.

La classe A est celle de la minorité d'éléments (en général 20%) responsable de la majorité des effets (en général 80%).

La classe B est intermédiaire. Elle est composée généralement des 30% d'éléments responsable de 15% d'effets.

La classe C est celle de la majorité d'éléments (en général 50%) responsable de la minorité des effets (en général 20%).

La figure III.11 montre l'allure de la courbe du Pareto, on remarque que le pourcentage du nombre des défauts (effets) survies augmente avec l'augmentation du pourcentage d'accumulation des causes du système. Ainsi, cette courbe peut être divisée en trois zones:

Zone A 20% des causes sont responsables à 57% des pannes (Problème de tension et Défaut CMP)

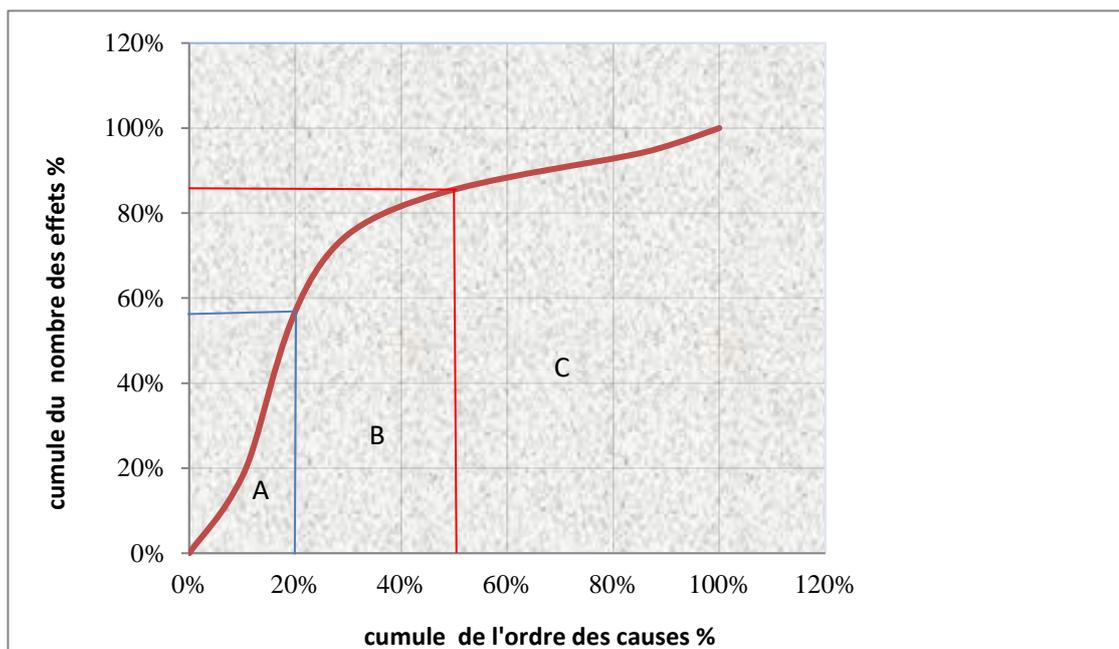
Zone B 30% des causes sont responsables à 27% des pannes (Défaut chargeur de batterie)

Zone C 50% des causes sont responsables à 15% des pannes (Défaut de batterie)

L'analyse de Pareto montre que 57% des pannes provient du problème de tension où ce problème présente que 20% des causes. L'instabilité de la tension demeure majoritaire en termes de nombre de pannes car il dépend du réseau publique (Sonelgaz) qui enregistre des chutes de la tension fréquentes pendant l'été.

Tableau (III.6): Classement des causes par ordre decroissant

Cause	Ordre	Cumule Ordre	Cumule Ordre (%)	Nombre effets	Cumule Nombre effets	Cumule Nombre effets (%)
Défaut CMP	6	6	35%	3	3	18%
Problème de tension	5	11	64%	9	12	75%
Défaut chargeur de batterie	4	15	88%	2	14	87%
Défaut de batterie	2	17	100%	2	16	100%
Total	\	17	100%	16	\	100%

**Figure III.11:** Courbe des défauts de système d'alimentation de tramway

III.5 Conclusion

Les analyses traitées ont été développées suivant une méthode d'investigation des informations et de suivi sévère sur les lieux. Elle a permis de mieux maîtriser le système étudié tout en identifiant les maillons faibles et justifier les types de maintenance appliqués à chaque sous système et composant. Enfin, elle constitue une véritable démarche d'optimisation des coûts de

maintenance. L'AMDEC " Moyen de production" par l'analyse des pannes, la fréquence d'apparition et les temps d'arrêt favorise : la mise en place des plans de maintenance préventive, l'organisation et la réalisation des actions de maintenance et l'amélioration des conditions d'intervention.

L'analyse de Pareto montre que 57% des pannes provient du problème de tension où ce problème présente que 20% des causes. L'instabilité de la tension demeure majoritaire en termes de nombre de pannes car il dépend du réseau publique (Sonelgaz) qui enregistre des chutes de la tension fréquentes pendant l'été.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le tramway a connu plusieurs étapes d'évolution. Il est le meilleur moyen de transport urbain, on est passé des tramways à cheval aux tramways électriques. L'Algérie aussi a reconnue une évolution dans le domaine des tramways, y'avait aucun tramway en service jusqu'à l'an 2011. A ce présent travail, on s'intéresse à l'étude de performance de circuit d'alimentation de tramway, et pour réaliser cette étude on a passé un stage pratique dans le centre de Setram (Ouargla) pour se familiariser avec les différentes structures de ce centre, ainsi que son système de travail et on a également pu voir en détail les composants de circuit d'alimentation, qui est le thème à étudié.

Tout d'abord nous avons commencé par présenter le réseau d'alimentation électrique des tramways et le système de traction, où nous avons appris que les lignes des tramways sont alimentées par des réseaux à courant continu sous une tension qui est généralement de 750 V.

En suite, on a abordé le principe de traitement de l'énergie électrique et l'étude de changement de forme et type de tension en utilisant des convertisseurs électrique (Redresseur, Hacheur, Onduleur, Transformateur). Ce système est soumis à différentes politiques de maintenance (préventive, corrective et amélioration), ce qui garantit une durée de vie plus longue des dispositifs du système au coût le plus bas possible. Après avoir introduit les notions de base de fiabilité, nous avons procédé au calcul d'indicateurs de fiabilité en fonction de la disponibilité des équipements de chaque appareil selon la loi exponentielle des appareils liés à l'alimentation. Nous avons également pu identifier les équipements les plus faibles ainsi que de déterminer et classer les pannes et étudier leurs causes et conséquences au moyen de méthodes préventives approuvées dans le domaine de la maintenance (méthode ABC, AMDEC). Ces analyses donnent des résultats qui permettent de définir le protocole de base pour éviter la défaillance.

L'analyse de Pareto montre que 65% des pannes provient du problème de tension où ce problème présente que 20% des causes. L'instabilité de la tension demeure majoritaire en termes de nombre de pannes car il dépend du réseau publique (Sonelgaz) qui enregistre des chutes de la tension fréquentes pendant l'été. A cet effet, nous recommandons l'entreprise SETRAM d'installer une source d'énergie de secours. Parmi les sources plus attractives on distingue l'énergie photovoltaïque car l'entreprise se dispose de grand parking avec de vaste terrain libre. Ce mode d'alimentation peut être la source d'alimentation principale avec une assistance par le réseau publique. En faite, cette forme d'alimentation nécessite un investissement initial, mais elle engendre une réduction des pannes et un gain financier à long terme due à la baisse de la facture d'électricité fournie par le réseau.

RÉFÉRENCES

- [1] <https://www.setram.dz/site/fr/setram> 6 /12 /2021.
- [2] Mémoire Tramway Ouargla Etude de faisabilité, **A. BLAMA & K. DJOUDI** Université Kasdi Merbah Ouargla 2017/2018.
- [3] Mémoire L'écoulement de puissance dans les réseaux De distribution, **A. Bouaraguia & A. Benhamada**, Université Kasdi Merbah Ouargla 2016 /2017.
- [4] Mémoire Etude d'alimentation électrique du tramway, **N. Kemassi & B. graid**, Université Kasdi Merbah Ouargla 2018/2019.
- [5] Mémoire Modélisation d'un réseau électrique de tramway de Tlemcen, **M. Chellal & C. Belkhir**, École Supérieure En Sciences Appliquées --T L E M C E N-- 2019 / 2020.
- [6] Modélisation d'un réseau électrique de tramway du composant au système, **J. ROUDET & N. RETIERE** 2005.
- [7] <https://www.sonelgaz.dz> 10/03/2022.
- [8] Mémoire Etude Sur L'amélioration Des Terres Dans Les Postes HTB/HTA 90/20kV De Bellevue Et Ambowe, **M. Kadri** SPECIALITE RESEAU ELECTRIQUE Institut International D'ingénierie L'Eau L'environnement Gabon 2019/2020.
- [9] Mémoire Modélisation et simulation du réseau du tramway, **H. DAHAR & Y. BEKARA**, HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES --T L E M C E N-- 2019/2020.
- [10] Mémoire Etude technico-économique de l'installation électrique du tramway de Tlemcen, **S. OUADI & B. DOUAG**, HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES --T L E M C E N -- 2020 /2021.
- [11] Mémoire La commande de tramway Cas de tramway de constantine, **W. BENHASSANI**, Université Larbi Ben M'Hidi-Oum El Bouaghi 2016.
- [12] Externalisation de la maintenance : Stratégies, méthodes et contrats. Edition DUNOD **J .C. FRANCASTEL** 2001

- [13] Maintenance des turbines à vapeur. Techniques de l'ingénieur, Référence BM4186, **H .P. RAMELLA** 2002.
- [14] Maintenance concepts et définitions. Techniques de l'ingénieur, Référence MT9030, **B. MECRIN** 2007.
- [15] Optimisation de la maintenance préventive d'une pompe centrifuge GA -1102. **H. BADEREDDINE**, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2016.
- [16] Vers les zéro pannes avec la maintenance conditionnelle. Editions AFNOR. **A. BOULENGER**, Paris 1988.
- [17] La maintenance source de profits. Editions d'organisation **J. P SOURIS** 1990.
- [18] Thèse de doctorat Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement, **O. Djebili**, Université De Reims Champagne Ardenne, France 2013.
- [19] Ingénieurs Maintenance Technologie, opération, maintenance des pompes centrifuges et volumétriques, **A. Moussy**, Hassi Messaoud Algérie 2015.
- [20] Mémoire Application de l'inférence bayésienne en fiabilité, **S. BOUHDOU & H. BRAHAM**, Université A.MIRA de Béjaïa 2013.
- [21] Mémoire Etude de Maintenance d'une turbopompe: Application à la station SH/ Haoud El Hamra, **A. CHETTI & F. Fateh**, Université Kasdi Merbah Ouargla 2019/2020.
- [22] Mémoire Etude de performance de Circuit de conditionnement d'air de tramway, **M. GAHALLOUS & A. ISMAILIA**, Université Kasdi Merbah Ouargla 2019/2020.
- [23] Maintenance Méthodes et organisations, **F. Monchy & J. Pierre Vernier**, Paris 2003.
- [24] Optimisation d'une politique de maintenance. Ed. Techniques et documentation (Lavoisier), **P. Lionnet** 1993.