

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



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département d'automatique et électromécanique

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER**

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : Electromécanique

Spécialité : *maintenance industrielle*

Par : ABDENNOUR BENNACER

thème:

**OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE
D'UNE LIGNE AERIENNE 220kV (À GRTE)
LA LIGNE GHARDAIA-OUARAGLA COMME UN EXEMPLE**

Soutenu publiquement le 07/10/2020

M ^{elle} . BOUCHELGA Fatma	MCB	UNIV	Ghardaïa	Président
Mr. MERZOUG Hocine	MAB	UNIV	Ghardaïa	Encadreur
Mr. ZITANI Brahim	MAA	UNIV	Ghardaïa	Co encadreur
Mr. BOUREGHDA Scander	MAA	UNIV	Ghardaïa	Examineur
Mr. MEDOUKALI Hemza	MCB	UNIV	Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

El hamdou li Allah

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département d'électromécanique de l'université Ghardaïa.

Je remercie Dieu le tout puissant de ma avoir donné la volonté, la santé, et la patience durant toutes ces années, pour accomplir ce travail que je viens aujourd'hui pour la présentation.

Je remercie sincèrement Monsieur : Mr. MERZOUG HOCINE pour ses aides, sa gentillesse, ses encouragements et ses conseils précieux pendant la période de la réalisation de ce travail.

Je remercie également tous les membres du jury qui j'ai fait l'honneur en acceptant d'examiner ce travail.

Je remercie tous les enseignants du département électromécanique d'université de Ghardaïa.

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

Dédicaces

Ce travail modeste est dédié:

A mes chers parents : Aicha et Salah Eddine, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chers frères : Youcef, Yahia et Rahim et leurs femmes pour leur appui et leur encouragement.

A ma chère sœur Hanaa et son mari Bayoub pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A toute la famille : Bennacer et Benzayet pour leurs soutiens tout au long de mon parcours universitaire.

A tous mes proches, mes amis et mes collègues de l'Université de Ghardaïa.

A tous les membres de groupe scout Yahia Sbaa chacun à son nom.

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Schéma de description des réseaux électrique	12
Figure I-2: Schema de principe d'un réseau d'énergie électrique	14
Figure I-3: Exemple de courbe journalière de la charge	17
Figure I-4: Disjoncteur	19
Figure I-5: Transformateur abaisseur	20
Figure I-6: Centre de contrôle ou dispatching.	21
Figure II-1 : Conducteurs en faisceau : a) à 2 conducteurs. b) à 3. c) à <u>4</u>	25
Figure II-2 : Conducteur conventionnel sur la gauche et à âme en fibre composite à droite.....	25
Figure II-3: Type usuel de pylons en treillis pour lignes a deux ou plusieurs Câbles de garde.....	27
Figure III-1 : Les différents types de maintenance	34
Figure III-2: Diagramme ISHIKAWA.....	40
Figure III-3: Diagramme de pareto ou la courbe ABC.....	42
Figure III-4: Courbe de baignoire	49
Figure III-5: Vie d'un système : évolution dans le temps.....	53
Figure III-6: La relation entre les notions de FMD	54
Figure IV-1 : La coube de Pareto	60
Figure IV-2: Papier fonctionnel de weibull.....	62
Figure IV-3: Les valeurs A et B en fonction de β	63
Figure IV-4: Fonction de répartition F(t) en fonction du TBF.....	66
Figure IV-5: La fonction de fiabilité R(t) en fonction de TBF.....	67
Figure IV-6: Taux de défaillance l'ambdat.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Les puissances transitées dans les lignes et les transformateurs en fonction de la tension d'utilisation.	18
Tableau II-1 : Isolateur utilisé pour les différentes lignes	26
Tableau II-2 : Caractéristique de la ligne GHARDAIA- OUARGLA	29
Tableau III-1 : Classification des actions de maintenance	38
Tableau IV-1 : Historique des pannes de la ligne GHARDAIA OUARGLA	57
Tableau IV-2 : Analyse ABC (Pareto)	59
Tableau IV-3 : Estimation de la fonction de répartition	61
Tableau IV-4 : Les paramètres de la loi weibull	62
Tableau IV-5 : Tableau de probabilité	64
Tableau IV-6 : La fonction de répartition	65
Tableau IV-7 : La fonction de fiabilité	66
Tableau IV-8 : Taux de défaillance	68

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	I
DEDICACES	II
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES	2
I.1. INTRODUCTION :	3
I.2. GENERALITE SUR L'ENTREPRISE (SONELGAZ) :	3
I.2.1. INTRODUCTION :	3
I.2.2. UNE BREVE HISTOIRE DE LA FONDATION SONELGAZ :	3
I.2.3. LA FONCTION DE L'ENTREPRISE :	7
I.2.4. PRESENTATION DE GRTE GHARDAÏA :	7
I.3. HISTORIQUE DE RESEAU ELECTRIQUE :	8
I.4. ROLE DU RESEAU ELECTRIQUE :	9
I.5. LES NIVEAUX DE TENSIONS DES RESEAUX :	10
I.6. DESCRIPTION DES RESEAUX ELECTRIQUES :	10
I.6.1. LE RESEAU DE TRANSPORT THT :	10
I.6.2. LE RESEAU DE TRANSPORT HT/MT :	11
I.6.3. LE RESEAU DE DISTRIBUTION BT :	11
I.7. LES POSTES DE TRANSFORMATION ELECTRIQUES :	12
I.7.1. TYPES DES POSTES DE TRANSFORMATION :	12
I.7.2. LES DIFFERENTS ELEMENTS DE POSTE ELECTRIQUE :	13
I.8. DESCRIPTION DES RESEAUX MODERNES :	14
I.8.1. LA PRODUCTION :	14
I.8.2. LE TRANSPORT ET LA REPARTITION :	15
I.8.3. LA DISTRIBUTION :	16
I.8.4. LES CHARGES :	17
I.9. TENSIONS NORMALISEES :	18
I.10. LE SYSTEME DE PROTECTION :	18
I.11. DISJONCTEUR A HAUTE TENSION :	19
I.12. LES TRANSFORMATEURS :	20
I.13. LE CENTRE DE CONTROLE OU DISPATCHING :	20
I.14. CONCLUSION :	21
CHAPITRE II: DEFINITION ET PROPRIETES DE LA LIGNE	22
II.1. INTRODUCTION :	23
II.2. L'UTILITE DE LA HT :	23
II.3. LA LIGNE A HAUTE TENSION :	23
II.4. COMPOSANTS D'UNE LIGNE :	24
II.4.1. CONDUCTEURS :	24
II.4.2. ISOLATEURS :	26
II.4.3. SUPPORTS :	27
II.4.4. CABLES DE GARDE :	27
II.5. CONSTRUCTION D'UNE LIGNE :	28
II.6. LIGNES GALOPANTES :	28
II.7. EFFET COURONNE - INTERFERENCES RADIOPHONIQUES :	28
II.8. POLLUTION :	29
II.9. MISE A LA TERRE DES PYLONES :	29

II.10. CARACTERISTIQUE DE LA LIGNE ETUDIEE (GHARDAÏA – OUARGLA) :	29
II.11. CONCLUSION :	30
CHAPITRE III : CONCEPTS DE BASE DE LA MAINTENANCE ET L'ANALYSE DE FMD	31
III.1. HISTORIQUE DE MAINTENANCE :	32
III.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE :	32
III.3. LES OBJECTIFS DE MAINTENANCE :	33
III.3.1. OBJECTIFS TECHNIQUES (OPERATIONNELS) :	33
III.3.2. OBJECTIFS ECONOMIQUES :	33
III.3.3. OBJECTIFS HUMAINS ET ECOLOGIQUES :	33
III.4. LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE :	34
III.4.1. LA MAINTENANCE PREVENTIVE :	34
III.4.2. LA MAINTENANCE CORRECTIVE :	35
III.5. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE :	36
III.5.1. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE :	36
III.5.2. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE :	36
III.5.3. AUTRES ACTIVITES DU SERVICE MAINTENANCE :	37
III.6. NIVEAUX DE MAINTENANCE CONSIDEREE :	37
III.7. LES METHODES D'ANALYSE DE DEFAILLANCE :	39
III.7.1. DIAGRAMME CAUSE-EFFETS :	39
III.7.2. LES 5M :	39
III.7.3. METHODE ABC (DIAGRAMME PARETO) :	41
III.7.4. LA METHODE AMDEC :	43
III.8. ETUDE DE FMD :	45
III.8.1. LA FIABILITE :	45
III.8.2. LA MAINTENABILITE :	50
III.8.3. LA DISPONIBILITE :	52
III.9. LA RELATION ENTRE LES NOTIONS FMD :	54
III.10. CONCLUSION :	54
CHAPITRE IV : L'ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR LA LIGNE AERIENNE 220 kV GHARDAIA-OUARGLA ---	56
IV.1. INTRODUCTION :	57
IV.2. HISTORIQUE DES PANNES DE LA LIGNE GHARDAIA-OUARGLA :	57
IV.3. L'APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE :	58
IV.3.1. LA METHODE DE LA COURBE ABC :	58
IV.4. LA FIABILITE :	60
IV.4.1. PREPARATION DES DONNEES DE LA LOI WEIBULL :	60
IV.4.2. TRACE DU NUAGE DE POINT :	62
IV.4.3. CALCULER MTBF :	63
IV.4.4. DENSITE DE PROBABILITE :	63
IV.4.5. LA FONCTION DE REPARTITION $F(t)$:	64
IV.4.6. LA FONCTION DE FIABILITE $R(t)$:	66
IV.4.7. TAUX DE DEFAILLANCE :	67
IV.5. RECOMMANDATION :	69
IV.6. CONCLUSION :	69
CONCLUSION GENERALE	70
BIBLIOGRAPHIE	70

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le 20ème siècle a vu peu à peu l'électricité s'imposer comme vecteur privilégié de l'énergie dans la quasi-totalité des domaines domestiques et industriels. Supports incontournables de cette énergie, les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique représentent aujourd'hui un enjeu économique et technologique considérable. Ils constituent une des composantes essentielles pour le développement et l'évolution des sociétés humaines que ce soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie que sur le développement des activités industrielles. Leur rôle est de fournir aux utilisateurs le produit électricité au moindre coût dans des conditions de qualité et de sécurité satisfaisantes.

Les lignes et les câbles de transport d'énergie électrique haute tension HT constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs HT et BT. Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes sont souvent exposées à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs.

Notre étude porte sur une ligne aérienne de très haute tension (220 kV) de moyenne distance GHARADIA OUARGLA et en essaie donner des solutions pour optimiser la maintenance préventive de cette ligne et le présent mémoire est structuré comme suit :

- ✓ Chapitre 01 : Généralité sur l'entreprise SONALGAZ et les réseaux électriques.
- ✓ Chapitre 02 : Définition et propriétés de la ligne.
- ✓ Chapitre 03 : Concepts de base de maintenance et l'analyse de FMD.
- ✓ Chapitre 04 : Analyse statistique et application des méthodes sur la ligne aérienne 220 kV GHARDAIA-OUARGLA.

Ce travail se termine par une conclusion générale dans laquelle on résume les principaux résultats obtenus et on énumérera les perspectives à ce travail.

CHAPITRE I :

GENERALITE SUR

L'ENTREPRISE ET LES

RESEAUX ELECTRIQUES

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

I.1. INTRODUCTION :

La vie quotidienne sans électricité est difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la Consommation croissante d'électricité, il a fallu construire des centrales électriques capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu' au consommateur .

En Algérie, ce service est assuré par la SONELGAZ qui est une société nationalisée, à cet effet, SONELGAZ à une triple mission :

- ❖ Produire l'énergie dans des centrales.
- ❖ Transporter cette énergie par des lignes à haute tension ou très haute tension.
- ❖ Distribuer cette énergie aux usagers en basse tension [1].

I.2. GENERALITE SUR L'ENTREPRISE (SONELGAZ) :

I.2.1. INTRODUCTION :

Sonelgaz institution responsable pour les consommateurs d'approvisionnement en électricité et en gaz, et jusqu'à ce qu'ils soient reconnus à déterminer les aspects connexes, nous montrons dans cette section un aperçu historique par définition, les taches effectuées et également sa structure organisationnelle [1].

I.2.2. UNE BREVE HISTOIRE DE LA FONDATION SONELGAZ :

Sonelgaz est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électriques et gazières en Algérie.

Sa contribution dans la concrétisation de la politique énergétique nationale est à la mesure des importants programmes de réalisation en matière d'électrification rurale et de distribution publique gaz, qui ont permis de hisser le taux de couverture en électricité à près de 98% et le taux de pénétration du gaz naturel à 43%.

❖ Les débuts de l'électricité en Algérie :

Au début du 20e siècle, 16 sociétés se partageaient les concessions électriques en Algérie, le groupe Lebon (Compagnie Centrale d'éclairage par le Gaz) et la Société algérienne

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

d'éclairage et de force (SAEF) au centre et à l'ouest, la Compagnie Du Bourbonnais à l'est ainsi que les usines Lévy à Constantine.

Par décret du 16 août 1947, ces 16 compagnies concessionnaires sont transférées à EGA. Elles détenaient alors 90% des propriétés industrielles électriques et gazières du pays. 1962 -1969 Soutenir le développement économique et social de l'Algérie La prodigieuse trajectoire de cette grande entreprise nationale reflète celle de la nation algérienne qui, depuis son accession à l'indépendance en 1962, a su mobiliser ses efforts pour réorganiser son économie et répondre aux nombreux besoins sociaux d'une population à forte croissance¹.

❖ 1969 Création de Sonelgaz :

C'est l'ordonnance N°69-59 du 28 juillet 1969 qui dissout l'établissement public d'Electricité et Gaz d'Algérie (EGA), issu des lois françaises de nationalisation de 1947, et promulgue les statuts de la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (Sonelgaz).

En 1969 Sonelgaz était déjà une entreprise de taille importante dont le personnel est de quelque 6000 agents. Elle desservait 700 000 clients.

Dès sa mise en place, l'entreprise a effectué, outre la vente d'énergie, l'installation et l'entretien d'appareils domestiques fonctionnant à l'électricité ou au gaz.

Elle s'est attachée à promouvoir l'utilisation du gaz naturel et de l'électricité dans les secteurs industriel, artisanal et domestique.

❖ 1977 Plan National d'Electrification

A partir de 1977, son action s'est concentrée sur le programme d'électrification totale du pays.

Ainsi, elle a largement contribué à la modernisation de l'économie et à l'amélioration des conditions de vie des citoyens en Algérie.

❖ 1983 Première restructuration : naissance des filiales travaux

Sonelgaz s'est restructurée une première fois et a donné naissance à cinq (05) entreprises travaux spécialisés ainsi qu'une entreprise de fabrication :

- ✓ KAHRIF pour l'électrification rurale.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

- ✓ KAHRAKIB pour les infrastructures et installations électriques.
- ✓ KANAGHAZ pour la réalisation des réseaux gaz.
- ✓ INERGA pour le Génie Civil.
- ✓ ETTERKIB pour le montage industriel.
- ✓ AMC pour la fabrication des compteurs et appareils de mesure et de contrôle.

C'est grâce à ces sociétés que Sonelgaz dispose actuellement d'infrastructures électriques et gazières répondant aux besoins du développement économique et social du pays [1].

❖ 1991 Un nouveau statut pour Sonelgaz :

Sonelgaz devient Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) en 1991.

Le décret exécutif N° 95-280 du 17 septembre 1995 confirme la nature de Sonelgaz en tant qu'Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial placé sous tutelle du Ministre chargé de l'énergie et des mines et doté de la personnalité morale tout en jouissant de l'autonomie financière.

❖ 2002 La transformation en SPA :

Suite à la promulgation de la loi N°02/01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et la distribution du gaz par canalisations, Sonelgaz devient Société Algérienne de l'Electricité et du Gaz, une Société par Actions (SPA).

Ce statut lui donne la possibilité d'élargir ses activités à d'autres domaines relevant du secteur de l'énergie et aussi d'intervenir hors des frontières de l'Algérie.

En tant que SPA, elle doit détenir un portefeuille d'actions et autres valeurs mobilières et a la possibilité de prendre des participations dans d'autres sociétés.

Cela annonce l'évolution de 2004 où ; Sonelgaz devient un Groupe Industriel.

❖ 2004 - 2006 Le Groupe Sonelgaz :

En 2004, Sonelgaz devient une holding de sociétés. Une partie de ses entités en charge de ses métiers de base sont érigées en filiales assurant ces Activités :

Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE).

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (GRTE).

Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz (GRTG).

❖ **En 2006, cinq (05) autres sociétés sont créées. Il s'agit de :**

Opérateur du Système Electrique (OS), chargé de la conduite du système Production / Transport de l'électricité.

Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger (SDA).

Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre (SDC).

Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Est (SDE).

Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Ouest (SDO).

Durant cette même année, les cinq (05) entreprises travaux ont réintégré le Groupe.

Au-delà de cette évolution, assurer le service public reste la mission essentielle de Sonelgaz et constitue le fondement de sa culture d'entreprise [1].

❖ **2007 - 2009 Parachèvement de la restructuration : Le renouveau :**

Réorganiser pour mieux progresser, telle est la démarche poursuivie par le Groupe Sonelgaz durant ces dernières années, l'enjeu étant la qualité du service rendu à la clientèle ; un projet mûri au sein de l'entreprise, pour aboutir à la finalisation de son organisation en Groupe

Industriel (maison mère / filiales) constitué de trente- trois (33) filiales et de six (06) sociétés en participation directe.

Cette période reste marquée par la détermination de Sonelgaz à faire plus et mieux, en mobilisant des financements importants afin de développer et renforcer ses infrastructures électriques et gazières.

La dynamique d'investissement a concerné tous les métiers et toutes les zones géographiques, pour assurer un approvisionnement en énergie et assurer un service de qualité à la clientèle [1].

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

❖ 2011 - Amendement des statuts de Sonelgaz :

Les statuts de Sonelgaz, adoptés en 2002, ont été révisés et approuvés par le conseil des Ministres, le lundi 2 mai 2011 et deviennent, de ce fait, en conformité avec le dispositif de la loi N°02 - 01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et la distribution du gaz par canalisations.

Désormais, Sonelgaz. Spa est organisée en "société holding" sans création d'une personne morale nouvelle et prend la dénomination de Sonelgaz. Par ailleurs, la société holding

Sonelgaz et ses sociétés filiales forment un ensemble dénommé "Groupe Sonelgaz".

Dans les statuts amendés, Sonelgaz conserve le rôle de détenteur du portefeuille des actions constituant le capital social de ses filiales.

Les conseils d'administration des filiales, constituent les relais incontournables permettant à la société holding de suivre et d'orienter le pilotage des filiales.

I.2.3. LA FONCTION DE L'ENTREPRISE :

Aux fins de la réalisation des objectifs de l'organisation et la réalisation de sa Mission de fournir un service public, il doit répondre aux besoins d'électricité et de gaz pour les citoyens et les institutions et à travers :

- ✓ Assurer la production, la transmission et la distribution de la qualité d'énergie Électrique.
- ✓ Pour assurer la distribution publique de gaz dans le cadre du respect des Exigences de sécurité au moindre coût.
- ✓ Réparation, entretien et la rénovation des installations de production, Transport et distribution de l'énergie électrique, ainsi que ceux relatifs à la Distribution de gaz^[2].

I.2.4. PRESENTATION DE GRTE GHARDAÏA :

Le Gestionnaire du Réseau de Transport de l'Electricité, dénommée GRTE.Spa, filiale du Groupe SONELGAZ, a été créé le 1er 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).

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

La société GRTE.Spa est administrée par un Conseil d'Administration, présidé par son Président Directeur Général. Elle est aussi dotée d'une Assemblée Générale. Les relations techniques entre les différents opérateurs (Producteurs, Société de distribution et Clients Haute tension) raccordés au réseau de transport d'électricité sont régies par l'arrêté ministériel du 28 février 2008, fixant les règles techniques de raccordement au réseau de transport et les règles de conduite du SPTE (Système de Production Transport de l'Electricité).

La raison sociale de l'entreprise devient en février 2009, « Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité, dénommée GRTE Spa », Société par Actions au capital de 40.000.000.000 DA [2].

GRTE est chargé de l'exploitation, de la maintenance et du développement du réseau de transport de l'électricité, en vue de garantir une capacité adéquate par rapport aux besoins de transit et de réserve. Conformément à la loi n°02-01 du 5 février 2002, GRTE a un monopole naturel sur le transport d'électricité. Ce monopole lui garantit un revenu requis qui provient de la rémunération sur le transit d'énergie, dont la tarification est fixée par la CREG et qui est le même sur l'ensemble du territoire national

La gestion du système de production et de transport d'électricité SPTE est assurée par l'opérateur Système Electrique, une société filiale du groupe Sonelgaz, qui doit veiller en permanence au maintien de l'équilibre offre – demande d'énergie électrique.

I.3. HISTORIQUE DE RESEAU ELECTRIQUE :

- **XIXe siècle :**

En 1882, la première transmission à haute tension se fait entre Munich et Bad Brook.

En 1891, le premier usage de courant alternatif triphasé sur lignes aériennes se fait à l'occasion du Salon international de l'électricité, à Francfort.

En 1892, la ligne aérienne triphasée du Salon international de l'électricité sera prolongée jusqu'à Heilbronn. C'est donc la première ville au monde à être alimentée en électricité par des lignes aériennes longue distance.

- **XXe siècle :**

En 1912, la première ligne à haute tension 110 kV entre en service.

En 1921, la première ligne de 120 kV pour desservir les aciéries de Saint-Chamond.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

Dans les années 1920, l'Énergie électrique du littoral méditerranéen bâtit une ligne de 170 km et 160 kV.

En 1923, pour la première fois, c'est une tension de 220 kV qui est appliquée à la ligne.

En 1957, la première ligne de 380 kV entre en service. Dans la même année, la ligne aérienne traversant le détroit de Messine a été mise en service en Italie.

En 1965, au Québec (Canada), Hydro-Québec met en service la première ligne au monde de 735 kV.

Dès 1967 en Russie et aux États-Unis, des lignes à haute tension de 765 kV sont construites.

En 1982, des lignes sont construites en Union soviétique, près de Moscou alimentées par un courant alternatif triphasé à 1 200 kV.

- **XXIe siècle :**

En 2003, la construction de la plus grande ligne à haute tension a débuté en Chine.

I.4. ROLE DU RESEAU ELECTRIQUE :

Le courant alternatif s'est généralisé avec l'évolution technologique qui a permis d'adapter les tensions à des puissances importantes grâce aux transformateurs. Le réseau électrique est hiérarchisé par niveau de tension, celui-ci est fractionné en trois principales subdivisions à savoir le réseau de transport, de répartition et de distribution.

Une notion de frontière peut être définie entre les niveaux de tension de réseau électrique ces frontières sont assurées par les postes sources et les transformateurs [3].

Le réseau électrique est exploité de manière à assurer trois principaux objectifs :

- 1) La distribution d'électricité doit pouvoir être garantie et ce malgré les aléas du réseau. En effet, celle-ci est un enjeu à la fois financier et de sécurité pour les biens matériels et des personnes. Ainsi l'opérateur du réseau doit être capable de faire face à ces aléas et d'éviter les dégâts potentiels ainsi que leurs propagations. Cet enjeu de sureté de fonctionnement en régime normal et en régime perturbé est un des premiers objectifs.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

- 2) L'onde de tension fait l'objet d'engagement contractuel que l'opérateur se doit de tenir en respectant une règle d'égalité c'est-à-dire une impartialité entre clients en conservant une continuité de service maximale.
- 3) Le dernier objectif d'exploitation est un objectif économique, l'exploitation doit être menée de manière optimale dans le but de réduire les pertes ainsi que les coûts de maintenance et d'investissement. D'autre part l'exploitation doit favoriser l'ouverture du marché de l'électricité.

I.5. LES NIVEAUX DE TENSIONS DES RESEAUX :

Les réseaux électriques sont hiérarchisés :

D'une façon générale, la plupart des pays mettent en œuvre :

- Un réseau de transport très haut tension du 220 kV jusqu'à 800 kV
- Un réseau de répartition haut tension du 60 kV jusqu'à 170 kV
- Un réseau de distribution moyen tension du 5 kV jusqu'à 36 kV (selon CEI)
- Un réseau de livraison de l'abonné basse tension 400/230 V

Cette hiérarchie c'est-à-dire, les niveaux de tensions utilisés varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques, sa surface et finalement des critères technico-économiques [3].

I.6. DESCRIPTION DES RESEAUX ELECTRIQUES :

I.6.1. LE RESEAU DE TRANSPORT THT :

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (> 300 MW).

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud A, B et C (Figure1) constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel sera cordent les lignes, au moyen d'appareils .

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence [4].

I.6.2. LE RESEAU DE TRANSPORT HT/MT :

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers Les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie ,la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire.

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux.I.5.3 Le réseau de répartition MT :

Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant des centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport.

Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à des services postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements [5].

I.6.3. LE RESEAU DE DISTRIBUTION BT :

C'est le réseau qui nous est en principe familier puisqu'il s'agit de la tension 220/380 V en Algérie. Nous le rencontrons dans nos maisons via la chaîne : compteur, disjoncteur ,fusibles (micro disjoncteurs) .La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution MT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique.

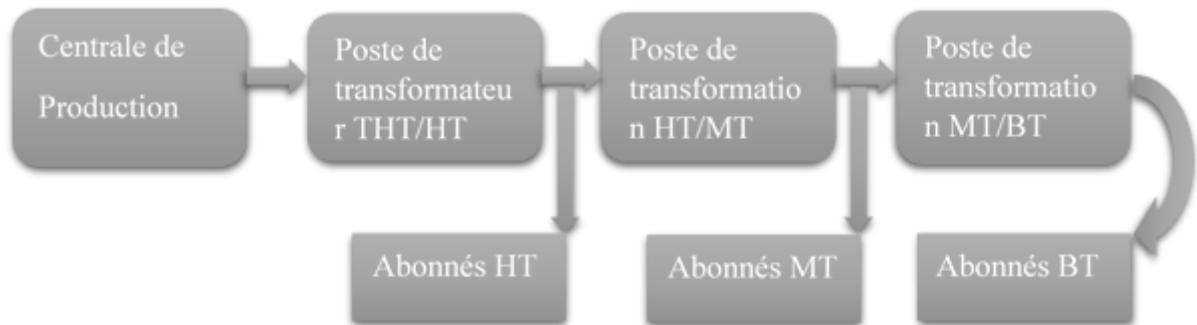


Figure I-1: Schéma de description des réseaux électrique [5]

I.7. LES POSTES DE TRANSFORMATION ELECTRIQUES :

I.7.1. TYPES DES POSTES DE TRANSFORMATION :

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- Les postes à fonction d'interconnexion, qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés⁵.
- Les postes de transformation, dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs.
- Les postes mixtes, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans l'ordre ou d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées Par l'appareillage à haute et très haute tension installée dans le poste et qui permet :

- D'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux disjoncteurs.
- D'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux sectionneurs.
- De modifier la tension de l'énergie électrique, grâce aux transformateurs de puissance.

Un ensemble de protections et d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborées par des réducteurs de mesure (tension et courant principalement) et agit sur l'appareillage à haute tension afin d'assurer les conditions d'exploitation pour lesquelles le réseau a été conçu.

Nous retiendrons donc que, par définition, les appareils de coupure, ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à un départ, sont regroupés dans une cellule.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

Un poste comporte donc autant de cellules que de départs qui sont raccordés à ses jeux de barres.

En outre, les jeux de barres sont susceptibles de constituer plusieurs nœuds électriques par l'ouverture de disjoncteurs ; on appelle alors sommet le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi constitué. Le nombre des sommets d'un poste caractérise ainsi son aptitude à former des nœuds électriques.

I.7.2. LES DIFFERENTS ELEMENTS DE POSTE ELECTRIQUE :

On distingue parfois les éléments d'un poste en "éléments primaires" (les équipements moyenne tension) et "éléments secondaires" (équipements basse tension)

Parmi les équipements primaires, on peut citer :

- ✓ Transformateur électrique.
- ✓ Autotransformateur électrique.
- ✓ Disjoncteur à haute tension.
- ✓ Sectionneur.
- ✓ Sectionneur de mise à la terre.
- ✓ Parafoudre.
- ✓ Transformateur de courant.
- ✓ Transformateur de tension.
- ✓ Combiné de mesure (courant + tension).
- ✓ Jeux de barres.

Parmi les éléments secondaires on peut citer :

- ✓ Relais de protection.
- ✓ Équipements de surveillance.
- ✓ Équipements de contrôle.
- ✓ Système de télé conduite.
- ✓ Équipements de télécommunication.
- ✓ Comptage d'énergie.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

I.8. DESCRIPTION DES RESEAUX MODERNES :

Un réseau d'énergie électrique est aujourd'hui un ensemble de circuits complexes Interconnectés comme le montre le schéma de principe de la figure I.2.

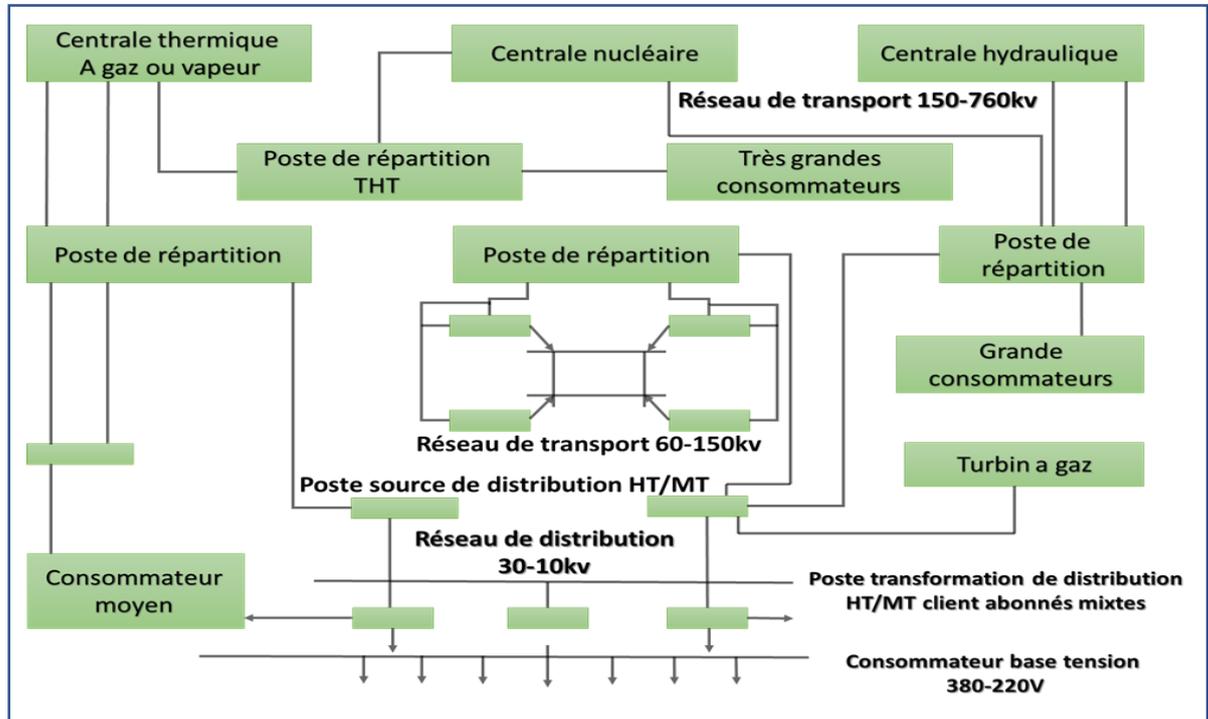


Figure I-2: Schéma de principe d'un réseau d'énergie électrique

Le réseau électrique peut être subdivisé en quatre parties essentielles [5]

- La production d'énergie électrique
- Le transport et la répartition
- La distribution
- Les charges

I.8.1. LA PRODUCTION :

Quand elle n'est pas d'origine chimique (batteries et accumulateurs), ou photovoltaïque (énergie solaire), l'électricité "industrielle" est toujours produite selon le même principe la transformation d'une énergie mécanique en énergie électrique, provenant de la mise en mouvement d'un aimant dans un bobinage de fil conducteur. Ce principe de l'alternateur (comparable à la dynamo des éclairages de bicyclettes) fonctionne à partir de diverses sources motrices : force de l'eau (barrages), force du vent (éoliennes), force de la vapeur d'eau

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

(centrales nucléaires et centrales thermiques à flamme) qui vont toutes entraîner la rotation de l'alternateur.

Une très grande partie de l'énergie électrique est produite par plusieurs types de centrale parmi elle en distingue trois plus utilisées dans le monde :

- Les centrales hydrauliques.
- Les centrales thermiques.
- Les centrales nucléaires.

Bien qu'on commence à exploiter le vent, les marées et l'énergie rayonnante du soleil, ces sources d'énergie ne représenteront, pour les années à venir, qu'une petite partie de l'énergie totale dont nous aurons besoin. Tout semble indiquer qu'au niveau mondial nous continuerons à exploiter les ressources fossiles (charbon, gaz naturel) et nucléaires.

L'électricité ne se stocke pas à l'échelle industrielle : à tout instant, la production d'électricité doit être égale à celle qui est consommée.

En Algérie, la société « Sonelgaz » veille donc à assurer, en permanence, un équilibre entre les offres de production et les besoins de consommation qui varient avec la saison, la météo du jour, de l'heure...etc. Des prévisions définissent les besoins théoriques nécessaires et les ajustements ont lieu en permanence pendant la journée [5].

I.8.2. LE TRANSPORT ET LA REPARTITION :

Le rôle du réseau aérien de transport est d'acheminer l'énergie électrique à partir des centrales situées à différents endroits du territoire jusqu'au réseau de distribution qui en dernier lieu alimente les charges. Les lignes de transport assurent aussi l'interconnexion des réseaux régionaux, ce qui permet, non seulement d'assurer une répartition économique de l'énergie électrique dans les régions elles-mêmes dans les conditions normales d'exploitation, mais aussi, un transfert inter-régional de l'énergie, dans les situations d'urgence.

Les niveaux de tension utilisés pour le transport sont différents d'un pays à un autre, mais une tendance à une normalisation existe. Font partie du réseau de transport toutes les lignes dont le niveau de tension est supérieur à 60 kV. En Algérie les tensions usitées pour le transport sont de 60 KV, 90 KV, 150 KV, 220 KV et 400 KV.

Aux Etats Unis, les tensions sont normalisées à 69 KV, 115 KV, 138 KV, 230 KV, 345 KV, 500 KV, et 756 KV et 1161 KV. Les lignes de transport dont la tension est supérieure à

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

500 KV sont dites à ultra haute tension, celles dont la tension est supérieure à 150 KV, mais inférieure à 500 KV, sont dites à très haute tension (THT). Ces seuils varient d'un pays à un autre.

Toutes les lignes de transport aboutissent toutes à des sources dites de répartition. Ces dernières permettent d'assurer la commutation des lignes d'une part, et d'abaisser la tension à des niveaux permettent la répartition de l'énergie électrique d'autre part. Il est à noter que de très grands centres de consommation industriels sont directement alimentés à partir du réseau de transport.

Comme indiqué sur la Figure I.2, la portion de réseau reliant les postes sources de répartition aux postes sources de distribution, au travers de transformateurs abaisseurs est dite réseau de répartition. Nous remarquerons qu'il n'existe pas de délimitation franche des niveaux de tension entre les réseaux de transport et de répartition. Il est communément admis, que pour le réseau de répartition, les tensions situées sont comprises entre 60 KV et 150 KV. Notons aussi que, de grandes unités industrielles sont alimentées par le réseau de répartition.

I.8.3. LA DISTRIBUTION :

Le réseau de distribution est la partie de réseau reliant les postes sources de distribution aux postes de consommateurs. Les lignes du réseau primaire de distribution sont d'un niveau de tension compris entre 5.5 kV et 36 kV et alimentent les charges d'une zone géographique bien précise.

Certaines petites unités industrielles sont directement alimentées par le réseau primaire moyen tension (MT). Le réseau secondaire de distribution est généralement à basse tension pour un usage commercial et résidentiel. En Algérie, la basse tension est de 380/220V triphasé 4 conducteurs, Dans certains pays, elle est encore en triphasé 220/127V 4 conducteurs.

Le réseau de distribution est à la fois, aérien et souterrain. Ce dernier a connu ces dernières décennies un accroissement rapide qui fait qu'il représente aujourd'hui la majeure partie du réseau de distribution.

Pour que l'énergie électrique soit utilisable, le réseau de transport et de distribution doit satisfaire les exigences suivantes :

- 1) Assurer au client la puissance dont il a besoin.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

- 2) Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas $\pm 10\%$ de la tension nominale.
- 3) Fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas ± 0.1 Hz.
- 4) Fournir l'énergie à un prix acceptable.
- 5) Maintenir des normes de sécurité rigoureuses.
- 6) Veiller à la protection de l'environnement.

I.8.4. LES CHARGES :

Les charges sont à caractère industriel, commercial et résidentiel. Si de très grandes charges industrielles peuvent être directement alimentées par le réseau de transport, les petites charges le sont par le réseau primaire de distribution.

Les charges industrielles sont des charges composées où les moteurs représentent la plus grande part. Ces charges composées sont fonction de la fréquence et de la tension et constituent la majeure partie de la charge totale d'un réseau électrique. Les charges à caractère commercial et résidentiel sont celles liées essentiellement à l'éclairage, le chauffage et la climatisation. Elles sont indépendantes de la tension et de la fréquence et absorbent très peu d'énergie réactive. La puissance active fournie à la charge s'exprime en kilowatts ou en mégawatts. L'amplitude de la puissance totale fournie, varie durant une journée et doit être à chaque instant adaptée à la demande du consommateur.

Le diagramme journalier de l'évolution de la charge Figure I.3, étant la sommation des consommations, exprimées par différents types de consommateurs pendant 24 heures, renseigne sur les habitudes de consommation de ces derniers. La plus grande valeur de la charge durant 24 heures est dite « pointe de charge » ou « pic de charge ». Les plages horaires durant lesquelles elle est atteinte sont dites « heures de pointe ». De petites centrales à démarrage rapide sont utilisées en appoint pour faire face à la demande pendant ces quelques heures.



Figure I-3: Exemple de courbe journalière de la charge [5]

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

I.9. TENSIONS NORMALISEES :

La recherche de la tension à adopter pour un réseau est fortement conditionnée par ce qui préexiste, et qui a fait l'objet de normalisation. En effet, à l'intérieur d'une très large gamme qu'il faut faire porter la décision, gamme qui va d'environ 125(V) à environ 730(kV). L'utilisation d'une gamme aussi large est liée à l'existence d'un vaste domaine de puissances : environ 10(W) pour le rasoir électrique à environ 2 milliards de watts pour les centrales électriques les plus puissantes. Les raisons du choix sont essentiellement économiques, car le coût annuel d'exploitation est influencé par la tension d'utilisation. On peut le constater dans le tableau suivant où figure les puissances que peuvent transiter les lignes :

Tableau I-1: Les puissances transitées dans les lignes et les transformateurs en fonction de la tension d'utilisation [5].

Tension (kV)	Puissance (MW)	Distance (km)
63	20	80
150	80	100
225	200	200
400	700	400
	1200	1000
750	2500	2000
	10000	3000

I.10. LE SYSTEME DE PROTECTION :

A l'instar des alternateurs, des transformateurs et des lignes, d'autres dispositifs existent pour assurer non seulement un fonctionnement normal mais aussi la protection des équipements et du personnel d'exploitation du réseau. Cela englobe, les transformateurs de mesures, les disjoncteurs, les interrupteurs, les sectionneurs, les fusibles, les éclateurs et sont directement reliés au réseau. Ces dispositifs permettent d'interrompre volontairement, et à tout moment, la fourniture d'énergie électrique, mais aussi, automatiquement à la survenance d'une quelconque perturbation (défaut). Les équipements de contrôle associés à ces dispositifs ainsi que les relais de protection sont installés dans des salles de contrôle.

I.11. DISJONCTEUR A HAUTE TENSION :

Est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée à la fois :

- ❖ Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique Figure 4.
- ❖ Dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit, ou les conséquences de la foudre.

De par ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit. La coupure d'un courant électrique par un disjoncteur à haute tension est obtenue en séparant des contacts dans un gaz (air, SF₆ ...) ou dans un milieu isolant (par exemple l'huile ou le vide). Après séparation des contacts, le courant continue de circuler dans le circuit à travers un arc électrique qui s'est établi entre les contacts du disjoncteur.

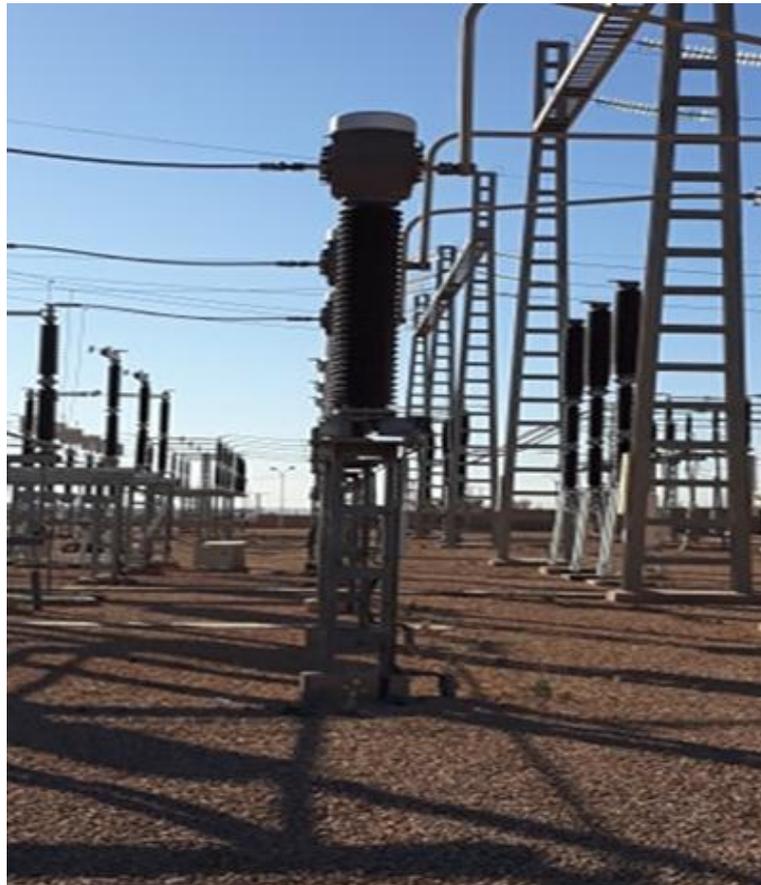


Figure I-4: Disjoncteur [8]

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

I.12. LES TRANSFORMATEURS :

Le second composant essentiel des réseaux électriques est le transformateur Figures 5. Il permet le transfert de puissance avec un rendement élevé d'un niveau de tension vers un autre. La puissance transmise au secondaire est à peu près celle du primaire et en conséquence le produit tension courant ($V.I$) au secondaire est approximativement égal à celui du primaire. Ainsi, dans un transformateur élévateur, toute élévation de tension au secondaire, s'accompagne d'une diminution dans le même rapport, du courant du secondaire, ce qui entraîne la diminution des pertes dans les lignes et rend possible l'acheminement de l'énergie électrique sur de longues distances. Des contraintes d'isolation, ainsi que d'autres liées à des problèmes techniques de conception ne permettent pas pour l'heure de générer au niveau des alternateurs, des tensions supérieures à 30(KV). Ainsi, un transformateur élévateur est nécessaire pour pouvoir transporter l'énergie électrique. Aux extrémités réceptrices des lignes, un transformateur abaisseur est utilisé pour ramener la tension à un niveau acceptable pour la distribution et l'utilisation.



Figure I-5: Transformateur abaisseur [8]

I.13. LE CENTRE DE CONTROLE OU DISPATCHING :

Pour un fonctionnement fiable et économique d'un réseau d'énergie électrique, il est indispensable de surveiller, contrôler le réseau, dans sa globalité à partir d'un centre de contrôle ou centre de conduite ou encore dispatching Figure 6.

Les dispatchings modernes sont dits centres de contrôle de l'énergie. Ces derniers sont équipés d'ordinateurs traitants en temps réel les signaux provenant d'un dispositif

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENTREPRISE ET LES RESEAUX ELECTRIQUES

d'acquisition de données.

Ces ordinateurs effectuent leurs traitements de données selon une structure hiérarchique permettant de coordonner, et de répondre, aux différentes exigences, liées aussi bien au fonctionnement normal du réseau, qu'aux situations d'urgences. Ils alertent les opérateurs, dès que toute situation normale de fonctionnement est décelée, leur permettant ainsi, d'apprécier l'événement, et de prendre les mesures adéquates, en agissant par l'intermédiaire de leur console sur les éléments du réseau et ainsi remédier à cette situation. Des outils de simulation ainsi qu'un ensemble de logiciels, écrit dans un langage de haut niveau, sont implémentés pour assurer un fonctionnement efficace et un contrôle fiable du réseau [6].

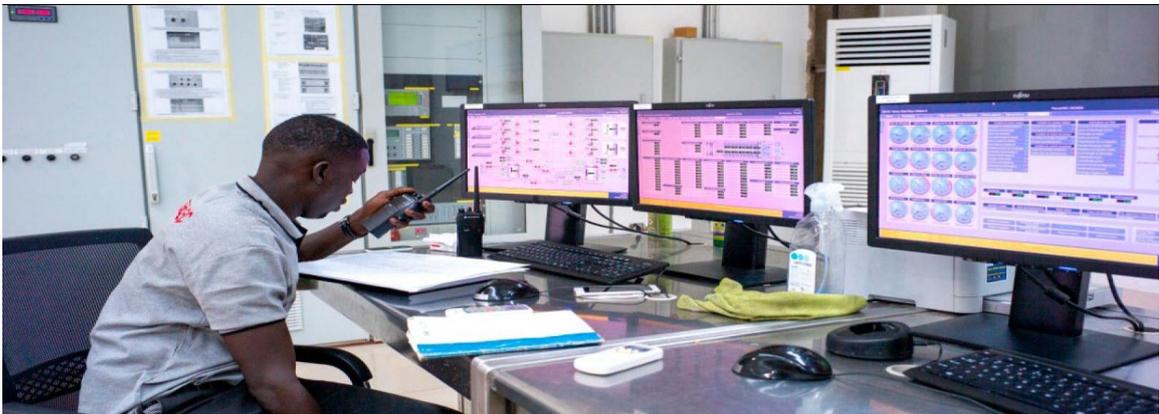


Figure I-6: Centre de contrôle ou dispatching [8]

I.14. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons vu des généralités sur l'entreprise "SONELGAZ/GRTE" et sa fonction puis, des généralités sur les réseaux électriques, en débutant par leurs descriptions, leurs classifications et leurs différentes fonctions, en passant à décrire leurs structures topologiques, les systèmes utilisés et le choix entre les différents types des réseaux électriques, en finissant par donner un petit aperçu sur les organes d'un poste de transformation ainsi qu'au centre de conduite (dispatching) .

CHAPITRE II:
DEFINITION ET
PROPRIETES DE LA LIGNE

II.1. INTRODUCTION :

Le transport de l'énergie électrique est un coefficient fondamental dans la structure du réseau électrique. Le rôle fondamental d'une ligne est de transporter l'énergie électrique. Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, givre, etc.

Ces facteurs interviennent de façon importante dans le choix des paramètres d'une ligne haute-tension notamment : type du conducteur électrique (matériaux et géométrie), hauteur et distance des pylônes, tension mécanique maximale d'un conducteur afin de maintenir une garde au sol suffisante etc.

Ce chapitre vise à déterminer ces caractéristiques longitudinales (résistances et inductances des conducteurs) et les caractéristiques transversales (capacité des conducteurs), c'est-à-dire pour réaliser une ligne THT ou HT, qu'elles sont les paramètres à étudier ?

II.2. L'UTILITE DE LA HT :

L'énergie électrique n'est généralement pas produite à proximité immédiate des lieux d'utilisation massive. Il faut donc la transporter par des lignes ou des câbles.

Pour une puissance donnée, le courant à transporter sera inversement proportionnel à la tension de transport. Par exemple, pour évacuer l'énergie d'un groupe de 100MVA, le courant sera de 260 A sous 220 kV mais de 4 000 A sous 15 kV. Le transport de 4 000 A sous 15 KV entraînerait des coûts d'équipement et surtout de pertes par effet Joule inadmissibles. Les courants de court-circuit et leurs effets seraient aussi considérablement augmentés.

C'est pour ces raisons-là, qu'on est conduit à augmenter la tension des réseaux de transport.

Evidemment, il y a une limite supérieure principalement constituée par le coût des isolements [7] .

II.3. LA LIGNE A HAUTE TENSION :

La ligne à haute tension constitue l'élément essentiel dans les infrastructures énergétiques de transport d'électricité. Elle permet l'acheminement de l'électricité des centrales électriques vers les centres de consommation. Les lignes peuvent être aériennes, souterraines, et parfois sous-marines.

Dans notre étude, nous nous intéressons exclusivement à la ligne à haute tension aérienne.

Les lignes à haute tension aériennes sont composées de câbles conducteurs, généralement en alliage d'aluminium, suspendus à des supports, pylônes ou poteaux. Ces supports peuvent être faits de bois, d'acier, de béton, d'aluminium ou parfois en matière plastique renforcée.

Aujourd'hui, certaines lignes sont régulièrement exploitées à des tensions supérieures à 765 kV. Les lignes à courant continu haute tension permettent de transporter l'énergie avec moins de pertes sur de très grandes distances et éventuellement sous l'eau.

II.4. COMPOSANTS D'UNE LIGNE :

Une ligne de transport se compose de :

- Conducteurs
- Isolateurs
- Supports et des câbles de garde [7].

II.4.1. CONDUCTEURS :

Les conducteurs des lignes aériennes à très haute tension sont toujours nus. On emploie presque exclusivement des câbles en cuivre et des câbles en aluminium avec âme en acier, ces derniers sont généralement les plus économiques. Pour le domaine de la THT, le mode d'utilisation des conducteurs est identifié selon des causes technico-économiques pour remédier à plusieurs phénomènes, qu'ils sont souvent rencontrés en vue le transport de l'énergie électrique, comme les pertes par effet couronne, les pertes réactives de la ligne, les pertes par effet Joules...etc.

Afin de réduire l'effet couronne par exemple, il est préférable d'utiliser la technologie des lignes en faisceau de conducteurs. Le faisceau est composé de 2, 3 ou 4 conducteurs (Figure II-1).

Parmi les effets de l'utilisation des faisceaux, l'augmentation de rayon équivalent de la phase et la réduction de l'intensité du champ électrique aux alentours du conducteur.

L'avantage le plus important de l'utilisation du faisceau de conducteurs est la réduction de la réactance de la ligne et des pertes par effet couronne.

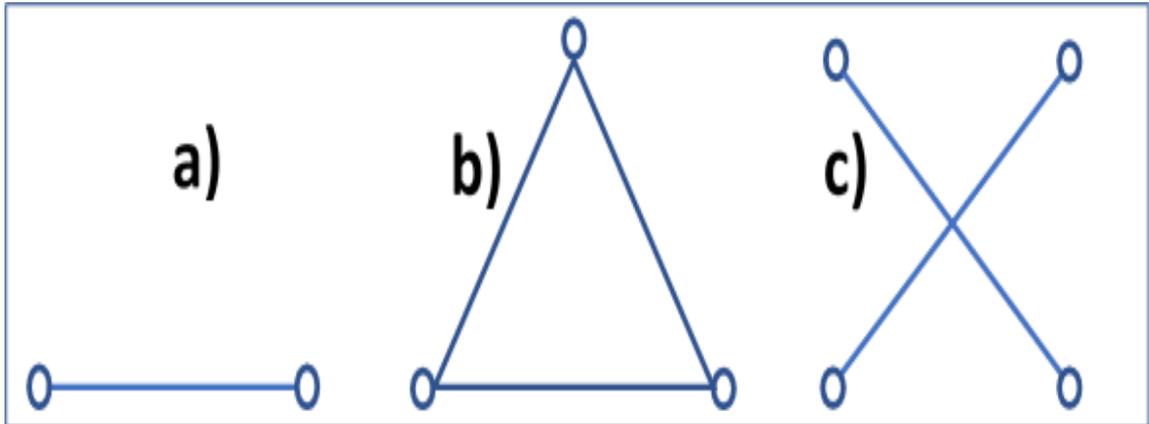


Figure II-1 : Conducteurs en faisceau : a) à 2 conducteurs. b) à 3. c) à 4 [8]

Les conducteurs hautes tensions sont aériennes ou souterraines (et parfois-marins).

Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, verglas etc. Ces facteurs interviennent de façon importante dans le choix des paramètres d'une ligne haute-tension : type de conducteur, hauteur et distance des pylônes, tension mécanique maximale sur le conducteur afin de maintenir une garde au sol suffisante, etc. Le choix de ces paramètres a une grande influence sur les coûts de construction et d'entretien d'une ligne de transport, ainsi que sur sa fiabilité et sur sa longévité. Pour toutes choses égales par ailleurs la position des conducteurs influe sur l'intensité et la disposition du champ électromagnétique.

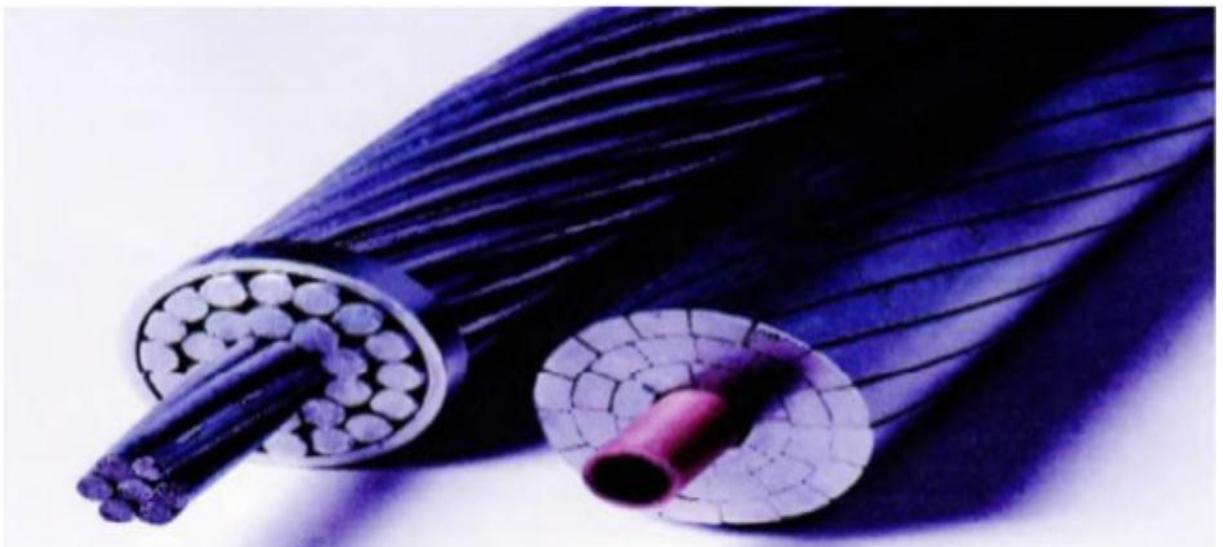


Figure II-2 : Conducteur conventionnel sur la gauche et à âme en fibre composite à droite [8]

II.4.2. ISOLATEURS :

Les isolateurs servent à supporter et à amarrer les conducteurs et à les isoler entre eux et de la terre. Ils sont presque toujours en porcelaine ou en verre trempé. Au point de vue électrique, les isolateurs doivent offrir une grande résistance d'isolement afin qu'ils ne soient ni contournés en surface, ni perforés à travers leur masse par les tensions élevées qu'ils ont à supporter normalement. Afin d'augmenter leur distance de contournement, on leur donne une forme de jupe. Au point de vue mécanique, ils doivent être assez résistants pour supporter les forces énormes dues au poids et à la tension mécanique des conducteurs. Les isolateurs sont de deux types principaux : rigides et à chaîne. La partie supérieure des isolateurs rigides sur laquelle est fixé le conducteur est constituée d'une ou de plusieurs jupes en porcelaine. Une tige vissée à l'intérieur des isolateurs permet de les fixer à un support. Pour des tensions supérieures à 70 kV, on emploie toujours des chaînes d'isolateurs constituées d'un certain nombre d'éléments en porcelaine réunis par des pièces métalliques. Le nombre d'éléments varie avec la tension : pour une tension de 110 (kV), on en admet de 4 à 7, pour une tension de 230 (kV), de 13 à 16, comme il le montre le tableau II.1. En porcelaine réunis par des pièces métalliques. Le nombre d'éléments varie avec la tension : pour une tension de 110 (kV), on en admet de 4 à 7, pour une tension de 230 (kV), de 13 à 16, comme il le montre le tableau II.1.

Tableau II-1: Isolateur utilisé pour les différentes lignes [7]

Type de Ligne	230/400 (420) kV	130/225 (245) kV	52/90 (100) kV	36/63 (72,5) kV	12/20 (24) kV	230/400V
Appellation	400 kV	225 kV	90 kV	63 kV	20 kV	400 V
Classification	THT (HTB transport national)		HT (HTB transport régional)		MT (HTA Distribution)	BT (Consommation)
Nombre d'isolateurs	19	12 à 14	9	4 à 6	2 à 3	1

II.4.3. SUPPORTS :

Pour les lignes aériennes, des pylônes, généralement réalisés en treillis d'acier supportent et maintiennent les conducteurs à une distance suffisante du sol et des obstacles : ceci permet de garantir la sécurité et l'isolement par rapport à la terre, les câbles étant nus (non isolés) pour en limiter le poids et le cout. L'inconvénient est leur exposition aux intempéries (embruns salés, tempêtes, poids de la glace qui peut les endommager).

La distance entre les fils conducteurs doit être suffisante pour empêcher leur contact, même sous l'action d'un vent violent. L'écartement entre les fils doit être d'autant plus grand que la distance entre les pylônes est plus grande et que la tension de la ligne est plus élevée. Par exemple, l'écartement entre les phases est habituellement de 12 m sur les lignes à 735 kV.

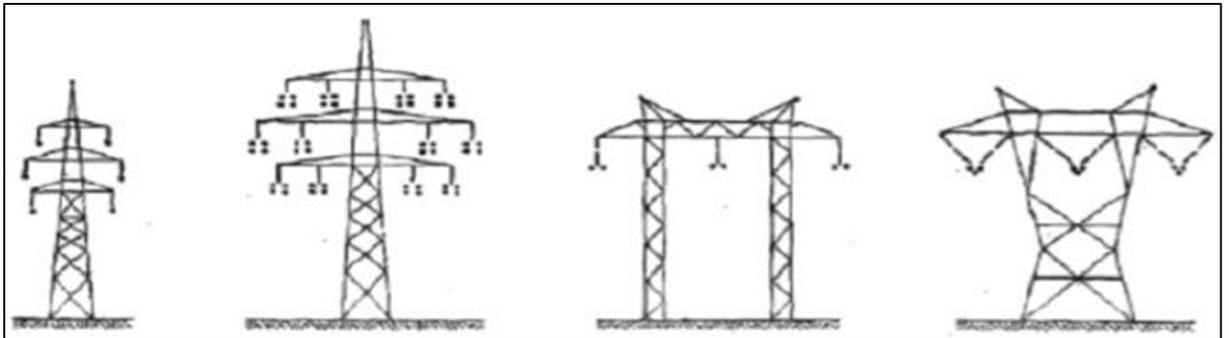


Figure II-3: type usual de pylons en treillis pour lignes a deux ou plusieurs Câbles de garde [8]

II.4.4. CABLES DE GARDE :

Les câbles de garde sont posés au sommet des pylônes en treillis. Ces câbles de gardes protègent les conducteurs d'électricité de la foudre. Ils relient en outre les pylônes isolés les uns avec les autres et améliorent ainsi la mise à la terre globale de l'ensemble des lignes aériennes.

Malgré leur faible section, ils doivent présenter une sécurité mécanique équivalente à celle des conducteurs en cas de vent violent ou de surcharge de givre ou de neige. Il est donc impératif qu'ils soient calculés avec les mêmes hypothèses climatiques que les conducteurs et que les efforts qu'ils génèrent dans les supports soient pris en compte dans leur totalité.

Cette condition est contraignante car la faible longueur des suspensions sur les supports d'alignement ne permet qu'un faible amortissement, dans les portées adjacentes, d'une surtension mécanique provoquée par une surcharge localisée.

Électriquement, ils doivent assurer l'interconnexion des mises à terre des supports et tolérer les échauffements provoqués par les courants de court-circuit et les courants générés par la foudre.

CHAPITRE II : DEFINITION ET PROPRIETES DE LA LIGNE

Pour satisfaire à ces conditions, les câbles de garde comportent toujours une section importante d'acier et, autour de l'âme d'acier, une couche ou exceptionnellement deux couches de fils d'almélec.

Deux types de câbles de garde sont utilisés :

- ❖ Des câbles almélec-acier normaux.
- ❖ Des câbles almélec-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication.

II.5. CONSTRUCTION D'UNE LIGNE :

Une fois que la section des conducteurs, la hauteur des pylônes et la distance entre les pylônes (portée) ont été déterminées, on peut procéder à la pose des conducteurs. Un fil supporté et tendu entre deux pylônes n'est pas horizontal ; il prend plutôt une forme d'une chaînette. La distance verticale entre la droite qui joint les deux points de support et le point le plus bas d'un fil porte le nom de flèche. Plus le fil est tendu, plus la flèche est courte.

Avant d'entreprendre la construction d'une ligne, il importe d'en faire le calcul mécanique pour déterminer la flèche et la tension mécanique admissibles. Entre autres, on doit tenir compte de la température maximale d'été. D'une part, la flèche ne doit pas être trop longue à ce moment, car autrement, le fil s'allongera durant les chaleurs d'été et la distance entre son point le plus bas et le sol ne sera plus suffisante au point de vue sécuritaire. D'autre part, la tension mécanique ne doit pas être trop grande, car autrement, le fil peut se contracter pendant les froids d'hiver et devenir dangereusement tendu. De plus, le vent et le verglas peuvent créer des efforts supplémentaires qui risquent d'entraîner sa rupture [2].

II.6. LIGNES GALOPANTES :

Lorsqu'une couche de verglas se dépose sur une ligne en présence de vent, la ligne se met à osciller. Si les conditions sont favorables, ces oscillations peuvent devenir très grandes ; on dit alors que la ligne se met à « galoper ». Ce phénomène peut produire des courts circuits entre les phases (télescopage) ou la rupture des conducteurs. Pour éviter ces problèmes, on pose parfois sur les conducteurs des amortisseurs qui empêchent les oscillations de se développer.

II.7. EFFET COURONNE - INTERFERENCES RADIOPHONIQUES :

Les très hautes tensions électriques créent des décharges importantes autour des conducteurs (effet couronne). Ces décharges produisent des pertes le long de la ligne et, de plus, elles possèdent un spectre de fréquences radiophoniques qui brouille la réception sur les postes

CHAPITRE II : DEFINITION ET PROPRIETES DE LA LIGNE

de radio et les téléviseurs situés dans le voisinage de la ligne. Pour réduire l'effet couronne, on diminue le champ électrique créé par les conducteurs en partageant leur diamètre ou en les arrangeant en faisceaux de deux, trois ou quatre conducteurs par phase.

Comme cet arrangement diminue aussi l'inductance de la ligne, on augmente du même coup la puissance qu'elle peut transporter.

II.8. POLLUTION :

La poussière, les acides, le sel et les autres polluants qu'on retrouve dans l'atmosphère se déposent sur les isolateurs et diminuent leurs propriétés isolantes. Cette pollution des isolateurs risque de produire des courts-circuits pendant les orages ou lors de surtensions momentanées. L'interruption du service et la nécessité de nettoyer ou de remplacer les isolateurs sont donc un souci constant créé par la pollution.

II.9. MISE A LA TERRE DES PYLONES :

On relie les pylônes des lignes de transport à des prises de terre exécutées avec grande précaution afin de leur assurer une faible résistance. En effet, si la foudre frappe un pylône, il ne faut pas que la chute de tension provoquée par le courant dans la prise de terre dépasse la tension de contournement des isolateurs [7].

II.10. CARACTERISTIQUE DE LA LIGNE ETUDIEE (GHARDAÏA – OUARGLA) :

Tableau II-2: Caractéristique de la ligne GHARDAIA- OUARGLA

Longueur	180 Km
Section	1*411 Mm²
Nombre des pylônes	427
Tension	220 KV
Matériau	Alu/Ac (Aluminium/Acier)

II.11. CONCLUSION :

Les lignes de transport aériennes sont constituées de conducteurs en aluminium (ACSR), d'isolateurs sur les lignes HT. On utilise généralement, pour chaque phase, des conducteurs en faisceaux afin de diminuer les pertes d'énergie et les interférences radiophoniques dues à l'effet couronne.

Des fils de garde en acier protègent la ligne contre la foudre. De plus, afin d'éviter les surtensions résultantes des courants de décharges de foudre, chaque pylône est solidement mis à la terre et je finis ce chapitre avec quelques informations sur la ligne Ghardaïa – Ouargla 220 kV.

CHAPITRE III:

**CONCEPTS DE BASE DE LA
MAINTENANCE ET
L'ANALYSE DE FMD**

III.1. HISTORIQUE DE MAINTENANCE :

A la fin des années 70, l'entretien était souvent le parent pauvre des services de l'entreprise. Les dirigeants le considéraient uniquement comme un poste de dépenses et ne pensaient qu'à réduire ses coûts.

L'entretien se contentait d'intervenir sur un système défaillant pour relancer la production et effectuait les opérations courantes préconisées par le constructeur. Il n'y avait donc pas de prise en compte des caractéristiques spécifiques et des conditions de fonctionnement (cadence, ancienneté, température ambiante, etc.) des matériels. On pouvait donc être conduit à effectuer (sans évaluation à priori ou à posteriori) trop ou pas assez d'entretien. Les choses ont évolué.

La part du coût machine dans le coût de production ne cesse d'augmenter aux dépens de celui de la main- d'œuvre. Ceci est dû à l'automatisation presque systématique des procédés, et à leurs coûts croissants .

Ainsi les arrêts inopinés coûtent cher . Dans ces conditions, la fonction maintenance est devenue stratégique .Entretien, c'est subir alors que maintenir, c'est prévoir et anticiper

Les coûts directs de maintenance sont devenus secondaires voire négligeables par rapport aux coûts indirects (non production, conséquences de la panne). Pour le gestionnaire la disponibilité des machines est devenue l'indicateur clé. Parallèlement à cette évolution, la maintenance s'est dotée de méthodes de gestion, d'organisation, d'aide au diagnostic des pannes, de stratégies .

Des techniques d'auscultation sophistiquées se sont développées (analyse vibratoire, analyse des huiles, thermographie IR, etc.). La qualification des techniciens s'est accrue.

La gestion de la maintenance requiert aujourd'hui une spécialisation professionnelle (STS, IUT, écoles d'ingénieurs...) [9].

III.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE :

D'après la norme AFNOR NF EN 13306 X 60-319 (Association française de normalisation), La maintenance est l'ensemble des 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 [9].

III.3. LES OBJECTIFS DE MAINTENANCE :

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de trois facteurs essentiels :

- ✓ Facteur technique.
- ✓ Facteur économique.
- ✓ Facteur humain et écologique.

III.3.1. OBJECTIFS TECHNIQUES (OPERATIONNELS) :

- Assurer la disponibilité maximale des installations et de l'équipement à un prix rationnel.
- Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix.
- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité).
- Assurer une performance de haute qualité.
- Maintenir une installation d'une propreté absolue à tout moment.

III.3.2. OBJECTIFS ECONOMIQUES :

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance et maximiser les profits.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par les installations et l'appareillage en fonction de son âge et de son taux d'utilisation [9].

III.3.3. OBJECTIFS HUMAINS ET ECOLOGIQUES :

- Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail.
- Etudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents.
- Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (échappement de gaz, bruits inhérents, fuites d'huile, ...etc.).

III.4. LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE :

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif (voir figure III.1).

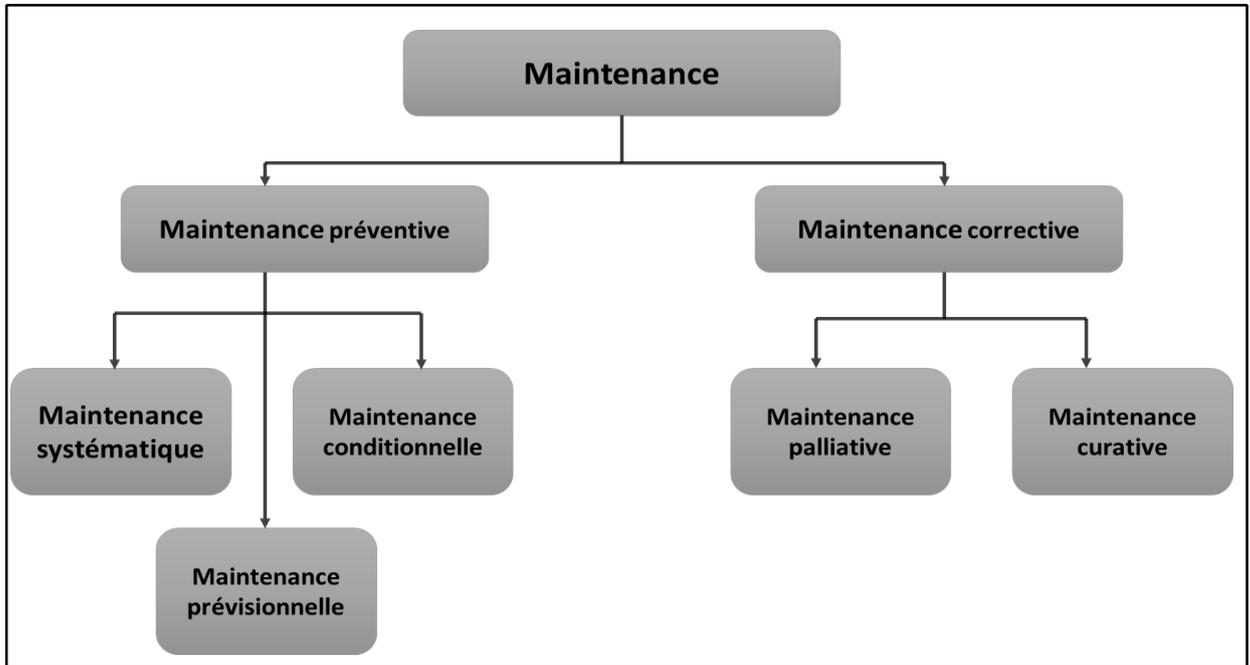


Figure III-1 Les différents types de maintenance [9]

III.4.1. LA MAINTENANCE PREVENTIVE :

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La maintenance préventive se subdivise en trois types :

III.4.1.1. LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE :

D'après la norme AFNOR X 60-100, la maintenance conditionnelle se définit comme une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure), révélateur de l'état de dégradation du bien

Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défaillants, entreprise en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle) Elle est liée à la surveillance et au diagnostic du système et n'entraîne l'action de réparation que si une panne (présente ou future) est détectée [9].

III.4.1.2. MAINTENANCE SYSTEMATIQUE :

D'après la norme AFNOR X 60-100, la maintenance systématique se définit comme « une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ».

La maintenance systématique a été la première à s'imposer, parce qu'elle ne demande pas de moyen d'analyse. Elle se traduit par des arrêts réguliers de la machine, avec démontage, contrôle et remplacement systématique d'organes. La date de l'arrêt est planifiée par l'expérience ou en fonction d'impératifs de sécurité.

Ce mode de maintenance est essentiellement basé sur la statistique. Bien que simpliste, il reste encore le plus utilisé à l'heure actuelle, souvent, parce qu'il ne demande pas d'analyse du comportement.

III.4.1.3. MAINTENANCE PREVISIONNELLE

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

III.4.2. LA MAINTENANCE CORRECTIVE :

La maintenance corrective, encore appelée "fonctionnement jusqu'à la rupture" ou "arrêt sur panne", est une méthode de maintenance qui demande peu d'engagement. C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance ou dégradation d'un élément actif. La norme NF EN 13306) définit ainsi la maintenance corrective : « Exécutée après détection d'une panne est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

Dans le contexte actuel, cette approche se révèle souvent la plus chère et la plus dangereuse. En théorie, elle ne devrait plus exister, même pour des industries qui possèdent de nombreuses machines peu coûteuses, et qui peuvent les doubler systématiquement. Elle est effectuée en cas de panne du système.

III.4.2.1. LA MAINTENANCE PALLIATIVE :

« Activité de maintenance corrective destinées à permettre de bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curative ».

III.4.2.2. LA MAINTENANCE CURATIVE :

C'est une activité ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

La maintenance optimale est donc un mélange harmonieux d'entretien préventif systématique et d'entretien correctif [10].

III.5. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE :

III.5.1. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE CORRECTIVE :

- **Dépannage** : Action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement, provisoirement avant réparation.
- **Réparation** : intervention définitive et limitée de maintenance corrective.

III.5.2. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE :

Les opérations suivantes sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **Inspection** : activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. et a pour but la détection de défaillances mineures :
 - ✓ Défauts de lubrification (contrôles des niveaux).
 - ✓ Défauts de pression, de températures, de vibrations.
 - ✓ Détection visuelle de fuites, détection d'odeurs, de bruits anormaux.
 - ✓ Dépannages simples : réglage de tension de courroie, échanges de lampes...
- **Contrôle** : vérification de la conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement (décision de non-conformité, d'acceptation, d'ajournement)

- **Visite** : activité consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie des éléments d'un bien. Elle peut entraîner certains démontages et déclencher des opérations correctives des anomalies constatées [10].

III.5.3. AUTRES ACTIVITES DU SERVICE MAINTENANCE :

- Les travaux d'amélioration : ils consistent à modifier un équipement pour augmenter sa sécurité, sa fiabilité et sa Maintenabilité.
- Les travaux de modernisation : ils consistent à remplacer des composants âgés ou à leur joindre des composants d'une génération nouvelle.
- La rénovation : ces travaux comprennent l'inspection complète de tous les organes suivis de :
 - ✓ La réparation des éléments usés.
 - ✓ L'achat d'éléments neufs.
- Les travaux neufs : ils contiennent, entre autres, les tâches suivantes :
 - ✓ Avis sur le choix du matériel.
 - ✓ Réception technique et vérification de la conformité.
 - ✓ Installation.

III.6. NIVEAUX DE MAINTENANCE CONSIDEREE :

La norme AFNOR X 60-010 propose un classement des actions de maintenance en cinq niveaux de complexité (Tableau III.1) [9].

Tableau III-1 : Classification des actions de maintenance

Niveaux	Détails par niveau des actions selon la norme AFNOR	Définitions simplifiées
1^{er} Niveau	Intervention de réglage simple, prévu par le constructeur Remplacement de consommables. Échange d'équipements accessibles en toute sécurité Reprise légère (de peinture).	Action S'effectuant sur le matériel
2^{eme} Niveau	Dépannage par échange standard Contrôle de bon fonctionnement Intervention mineure de maintenance préventive Concept du LRU (Lowest Replaceable Unit) : matériel à maintenir en urgence	
3^{eme} Niveau	Intervention hors matériel réalisée dans l'atelier ordinaire Identification et diagnostic de pannes Réparation par échange de composants fonctionnels Réparation mécanique mineure	Action s'effectuant en dehors du matériel
4^{eme} Niveau	Intervention de type spécialisé Réglage d'instruments de mesure Vérification d'étalons	
5^{eme} Niveau	Travaux importants de rénovation ou de reconstruction Retour en usine ou en atelier central de maintenance Intervention de grande maintenance	Intervention de grande maintenance

III.7. LES METHODES D'ANALYSE DE DEFAILLANCE :

III.7.1. DIAGRAMME CAUSE-EFFETS :

III.7.1.1. DEFINITION :

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de la TOKYO dans les années 60 et concepteur d'une méthode de management de la qualité totale. Le diagramme causes-effet est une représentation graphique du classement par familles de toutes les causes possibles pouvant influencer un processus. Ces familles de causes au nombre de 5 engendrent la non qualité dans un processus de fabrication. Leur nom commence par la lettre M d'où l'appellation 5M. Ishikawa a proposé une représentation graphique en « arête de poisson ».

III.7.2. LES 5M :

Le diagramme d'Ishikawa appelé aussi la méthode des 5M, le diagramme cause à effet ou le diagramme en arête de poisson est une démarche qui permet d'identifier les causes possibles d'un problème ou un défaut (effet).

Il convient ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées.

Alors Pour tenter de diminuer ou d'anéantir un problème de qualité, il faut connaître toutes les causes qui peuvent lui donner naissance. Puis en cherchant leur poids relatif, on peut déterminer sur quelle cause agir en priorité.

IL ne garantit pas le résultat mais elle contribue (grandement) à structurer les idées et les réflexions comme, par exemple, lorsque cette méthode est utilisée lors d'un groupe de travail. Il peut être utilisé comme support de communication, de formation. Il peut être vu comme une base de connaissance. Le diagramme causes -effet n'apporte pas directement de solutions, il permet néanmoins de bien poser les questions.

Le diagramme d'Ishikawa se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson. Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5 M. La méthode des 5 M permet d'orienter la réflexion vers les 5 domaines, desquels sont généralement issues les causes :

M1 – Matières : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention.

CHAPITRE III : CONCEPTS DE BASE DE LA MAINTENANCE ET L'ANALYSE FMD

M2 – Matériel : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance.

M3-Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management.

M4 - Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation.

M5 – Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires.

Le diagramme Causes-Effet est donc l'image des causes identifiées d'un dysfonctionnement potentiel pouvant survenir sur un système. Il se veut le plus exhaustif possible en représentant toutes les causes qui peuvent avoir une influence sur la sûreté de fonctionnement.

Les 5 grandes familles ou 5 facteurs primaires sont renseignés par des facteurs secondaires et parfois tertiaires, Les différents facteurs doivent être hiérarchisés.

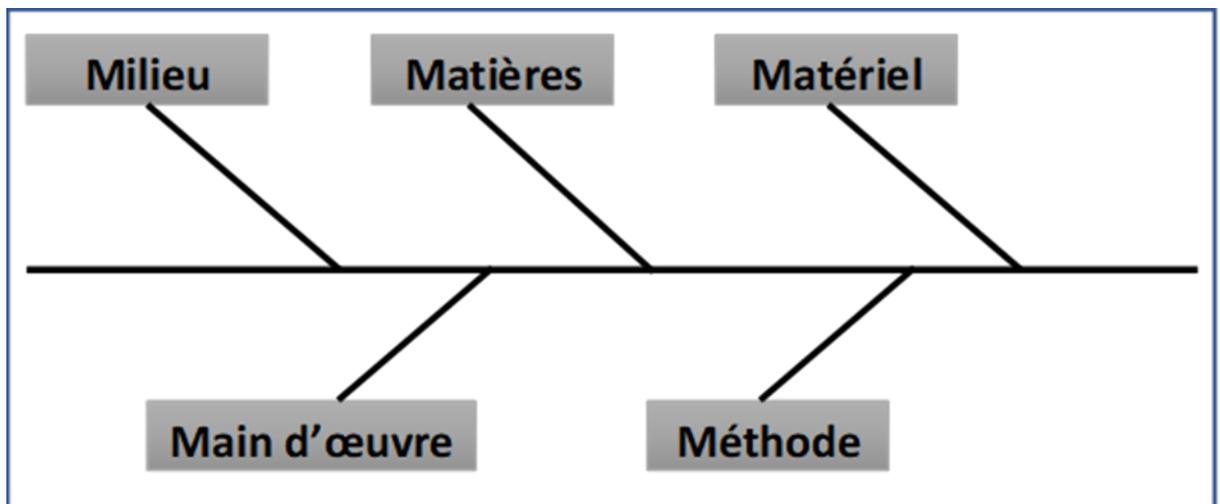


Figure III-2 : Diagramme ISHIKAWA

III.7.2.1. ETAPES DE CONSTRUCTION D'UN DIAGRAMME D'ISHIKAWA :

La construction du diagramme d'Ishikawa est basé sur un travail de groupe. Il est élaboré en plusieurs étapes :

1. Décrire le problème ou la défaillance.
 2. Déterminer les causes qui ont pu déclencher le problème. En général, on utilise soit le Brainstorming, soit la méthode des 5M.
 3. Tracer le squelette du diagramme d'Ishikawa (sous forme d'arêtes de poisson) en y mentionnant les 5M.
 4. Pour chaque catégorie de 5M, inscrire les causes suggérées par les membres du groupe en posant toujours la question : pourquoi telle cause produit-elle cet effet ?
 5. Classer les causes proposées ou les hypothèses en de sous catégories.
 6. Définir les causes premières qu'il est possible de soustraire, voire même éradiquer.
 7. Trouver les solutions adéquates aux causes en mettant en place des actions correctives.
- Toutes ces étapes permettent de décortiquer les causes provoquant le défaut. L'outil Ishikawa a été principalement conçu afin d'effectuer la gestion de la qualité. Il identifie les causes réelles à une problématique, permet une analyse, en équipe très intéressante en lien avec un problème résoudre et amène l'équipe à se poser les vraies questions et, surtout, à amener de la rigueur dans l'analyse sur des faits réels et non pas sur des perceptions ou des préjugés.

III.7.3. METHODE ABC (DIAGRAMME PARETO) :

III.7.3.1. DIAGRAMME DE PARETO :

Le diagramme de Pareto est un outil statistique qui permet d'identifier l'importance relative de chaque catégorie dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition. Un diagramme de Pareto est mis en évidence lorsque 20 % des catégories produisent 80 % d'un nombre total d'effets. Cette méthode permet donc de déterminer rapidement quelles sont les priorités d'actions. Si on considère que 20 % des causes représentent 80% des occurrences, agir sur ces 20 % aide à solutionner un problème avec un maximum d'efficacité.

III.7.3.2. DEFINITION DE LA METHODE ABC :

La méthode ABC est une moyenne objective d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé [10].

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités.

CHAPITRE III : CONCEPTS DE BASE DE LA MAINTENANCE ET L'ANALYSE FMD

On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc...), chaque événement se rapportant à une entité.

On établit en suite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma (figure II.2), on observe trois zones.

1. Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts.
2. Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires.
3. Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A. toujours de façon claire[10].

III.7.3.3. BUT DE LA METHODE ABC :

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- ✓ Diminuer les couts de maintenance et donc assurer l'optimisation de la maintenance.
- ✓ Améliorer la fiabilité des systèmes.
- ✓ Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

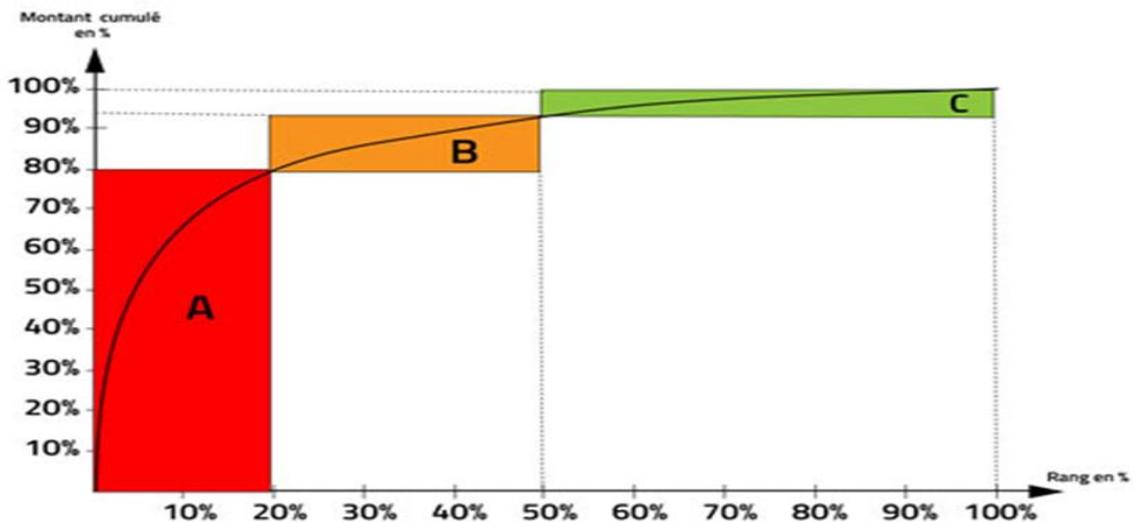


Figure III-3 : Digramme de pareto ou la courbe ABC [8]

III.7.4. LA METHODE AMDEC :

III.7.4.1. DEFINITION :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une technique d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements.

D'après AFNOR, l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système [10].

III.7.4.2. TYPES D'AMDEC :

Selon les objectifs visés plusieurs types de l'AMDEC sont utilisés lors de phases successives de développement d'un produit :

I. AMDEC produit :

- S'assurer que la conception du produit (appareil électroménager, sous-ensemble automobile, produit chimique...) satisfera aux exigences des clients.

II. AMDEC processus :

- S'assurer que chaque étape de la fabrication du produit ne générera pas de défauts de qualité.

- Les sorties de l'étude sont :

- ✓ Modes opératoires de fabrication.
- ✓ Plan de contrôle.

III. AMDEC machine :

- S'assurer que les équipements, les machines fonctionneront avec la meilleure disponibilité possible

- Les sorties de l'étude sont :

- ✓ Modes opératoires de conduite et de maintenance.
- ✓ Formation du personnel (production et maintenance).
- ✓ Politique de maintenance et de pièces de rechange.

- ✓ Modifications pour améliorer la fiabilité ou la maintenabilité.

III.7.4.3. OBJECTIFS DE L'AMDEC :

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- ❖ Analyser les conséquences des défaillances.
- ❖ Identifier les modes de défaillances.
- ❖ Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection.
- ❖ Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance.
- ❖ Classer les modes de défaillance.
- ❖ Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance [10].

III.7.4.4. DEMARCHE PRATIQUE DE L'AMDEC :

L'emploi des AMDEC crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outiller. Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe AMDEC est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse.

La démarche pratique de l'AMDEC se décompose en 4 étapes suivantes :

- ✓ **Étape 1** : initialisation de l'étude qui consiste :
 - La définition de la machine à analyser.
 - La définition de la phase de fonctionnement.
 - La définition des objectifs à atteindre.
 - Constitution de groupe de travail.
 - La définition de planning des réunions.
 - La mise au point des supports de travail.
- ✓ **Étape 2** : description fonctionnelle de la machine qui consiste
 - Découpage de la machine, décision des actions à engager
 - Inventaire des fonctions de service

- Inventaire des fonctions techniques.
 - ✓ **Etape 3** : analyse AMDEC qui consiste :
- Analyse des mécanismes de défaillances.
- Evaluation de la criticité à travers :
 - ✚ La probabilité d'occurrence F.
 - ✚ La gravité des conséquences G.
 - ✚ La probabilité de non détection D.
- ✓ **Etape 4** : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :
- Bilan des travaux.
- Décision des actions à engager [10].

III.8. ETUDE DE FMD :

III.8.1. LA FIABILITE :

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée [11].

- a) **Fiabilité intrinsèque** : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.
- b) **Fiabilité extrinsèque** : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif an l'intervention humaine.

III.8.1.1. OBJECTIFS DE LA FIABILITE :

La fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps.
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance.
- Prévoir une durée de vie.
- Evaluer avec précision un temps de fonctionnement.
- Déterminer la stratégie de l'entretien.
- Choisir le stock.

III.8.1.2. PRINCIPALES LOIS DE PROBABILITE UTILISEES EN FIABILITE :

Dans les études de fiabilité des différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée suivant diverses lois qui sont principalement :

- ✓ La loi normale.
- ✓ La loi log-normale.
- ✓ La loi binomiale.
- ✓ La loi de POISSON ou loi de faibles probabilités.
- ✓ La loi exponentielle.
- ✓ La loi de WEIBULL [11].

III.8.1.2.1. LA LOI NORMALE :

C'est une loi continue à deux paramètres ; la valeur moyenne et l'écart type caractérise la dispersion autour de la valeur moyenne. Elle est la plus ancienne, utilisée pour décrire les phénomènes d'incertitudes sur les mesures, et ceux de fatigue des pièces mécaniques.

III.8.1.2.2. LA LOI LOG-NORMALE :

Soit une VA continue positive ; si la variable $y = \text{Log } x$ est distribuée selon une loi normale, la variable x suit une loi log-normale. De nombreux phénomènes de mortalité ou de durée de répartition sont distribués selon des lois log-normale.

III.8.1.2.3. LA LOI BINOMIALE :

La loi binomiale est une loi discrète. On l'applique pour décrire un phénomène ayant deux occurrences s'excluant mutuellement (succès ou échec, état défaillant ou en fonctionnement par exemple). En fiabilité cette loi représente la probabilité de voir k défaillances de matériels lors de l'exécution de n essais, sachant que la probabilité élémentaire de défaillance d'un matériel est P .

- Sa variance :
$$V = nP(1 - P) \quad (\text{III.1})$$

- Son écart type :
$$\sigma = \sqrt{np(1 - P)} \quad (\text{III.2})$$

III.8.1.2.4. LA LOI DE POISSON OU LOI DE FAIBLES PROBABILITES :

La réalisation d'évènements aléatoires dans le temps se nomme « processus de poisson » et caractérise une suite de défaillances indépendantes entre elles et indépendantes du temps.

La loi de POISSON est une loi discrète, elle exprime la probabilité d'apparition d'un évènement lorsque celui-ci peut se manifester de nombreuses manières mais avec une faible probabilité.

Ses paramètres sont, en posant Sa variance :
$$m = \lambda t \quad (\text{III.3})$$

- Sa fréquence : $pr[x = k] = \frac{m^k}{k!} e^{-m}$ (III.4)

- Sa fonction de répartition : $F(x) = \sum_{k=0}^x \frac{m^k}{k!} e^{-m}$ (III.5)

III.8.1.2.5. LA LOI DE WEIBULL :

C'est une loi continue à trois paramètres, donc d'un emploi très souple. En fonction de la valeur de ses paramètres, elle peut s'ajuster à toutes sortes de résultats expérimentaux. Cette loi a été retenue pour représenter la durée de vie des pièces.

III.8.1.3. PARAMETRES NECESSAIRES ALLA MESURE DE FIABILITE :

- **Densité de probabilité de défaillance :**

La densité de probabilité de l'instant de la défaillance T s'obtient en dérivant la fonction de répartition F (t) :

$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (III.6)$$

- **Fonction de répartition :**

C'est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i .

$$F(t_i) = \Pr(T < t_i) \quad (III.7)$$

Notons que ces deux fonctions sont complémentaires :

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (III.8)$$

- **Fonction de fiabilité :** nous appelons R (t) la fonction de fiabilité, qui représente la probabilité de fonctionnement sans défaillances pendant un temps (t), ou la probabilité de survie jusqu'à un temps (t).

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t), qui représente la probabilité cumulative des défaillances est appelé : « probabilité de défaillance ».

- **Taux de défaillance :**

Prenons maintenant une pièce ayant servi pendant une durée t et encore survivante.

La probabilité qu'elle tombe en panne entre l'âge t qu'elle a déjà et l'âge T + d t est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre T et T + d t, sachant

qu'elle a survécu jusqu'à T. D'après le théorème des probabilités conditionnelles cette probabilité est égale à :

$$\lambda(t) = \frac{F(t+dt)-F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1-F(t)} \quad (\text{III.9})$$

Avec $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t.

- **La MTBF :**

Le temps moyen jusqu'à défaillance (ou moyenne des temps de bon fonctionnement) est :

$$\text{MTBF} = \frac{\Sigma \text{tempede bon fonctionnement}}{\text{nombre d'intervallesde temps de bon fonctionnement}} \quad (\text{III.10})$$

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (\text{III.11})$$

- **Loi de Weibull :**

La loi de weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

- 1) Le paramètre de position γ qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé).
- 2) Le paramètre d'échelle η qui, comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.
- 3) Le paramètre de forme β qui est associé à la cinétique du processus observé

- **Densité de probabilité :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (\text{III.12})$$

- **Fonction de répartition :**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (\text{III.13})$$

- **Loi de fiabilité :**

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.14})$$

- **Taux de défaillance :**

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)x^2}{1-F(t)} = \frac{\beta}{n} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^\beta}} \rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{n} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^{\beta-1} \quad (\text{III.15})$$

Application à la fiabilité :

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est

Soit décroissant ($\beta < 1$),

Soit constant ($\beta = 1$),

Soit croissant ($\beta > 1$).

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (Courbe de baignoire) voire la (figure III.4).

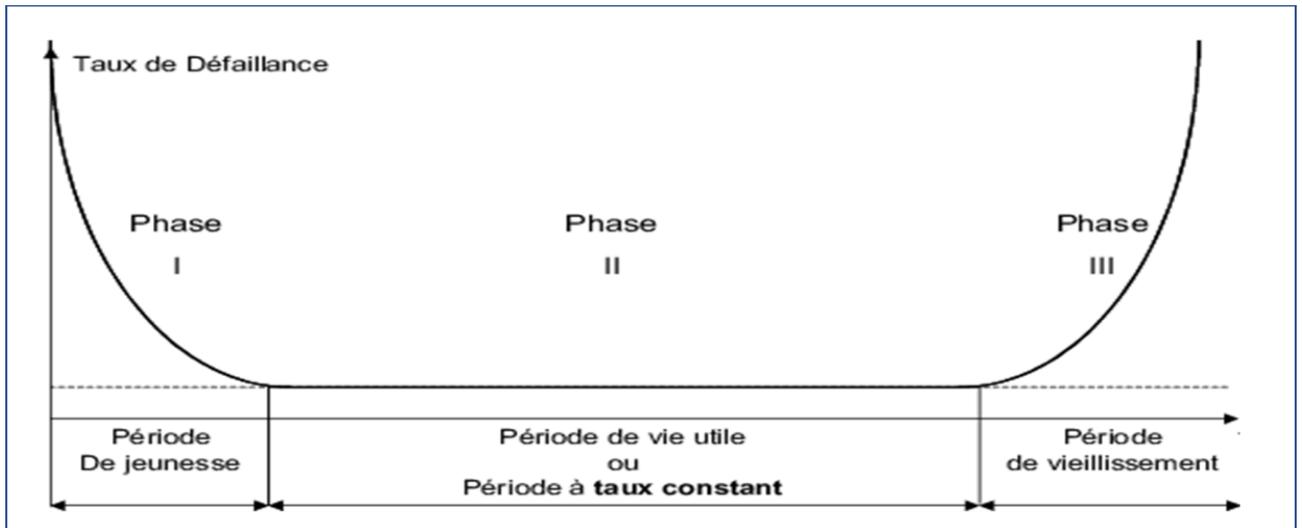


Figure III-4 : courbe de baignoire [11]

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est infime jusqu'à un certain âge γ .

- **Estimation des paramètres de la loi de weibull**

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres : (β, η, γ) de cette loi.

✓ Préparation des données :

- 1) Calcul des Temps de bon fonctionnement.
- 2) Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant.
- 3) N = nombre de Temps de bon fonctionnement.
- 4) Recherche des données F(i), F(i) représente la probabilité de panne au temps.

Correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'ième défaillant.

On a 3 cas différents :

Si $N > 50$, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(t) = \frac{NI}{N} = \frac{\sum Ri}{N} \approx F(t) \quad (\text{III.16})$$

Si $20 < N < 50$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs Moyens) :

$$f(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t) \quad (\text{III.17})$$

Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians) :

$$F(i) = \frac{Ni-0.3}{N+0.4} \approx F(t) \quad (\text{III.18})$$

III.8.2. LA MAINTENABILITE :

Selon la norme AFNOR X60-010, la maintenabilité définit comme suit: « dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits » Il est possible de donner à la maintenabilité une définition probabiliste : « si la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions avec des moyens prescrits ». La maintenabilité dépend essentiellement de l'accessibilité, de la facilité de démontage et de remontage des éléments constitutifs et de leur interchangeabilité d'un équipement. L'indicateur essentiel de la maintenabilité d'un équipement est la MTTR (Mean Time To Repair) traduite par la (Moyenne des Temps Techniques de Réparation), la maintenabilité concerne donc le

responsable de maintenance ou même titre que la fiabilité, tant pour le choix d'équipements nouveaux que pour l'amélioration éventuelle l'équipement existant¹¹.

$$M(t) = 1 - e^{-\omega t} \quad (\text{III.19})$$

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR :

$$\text{MTTR} = \frac{\sum TTR}{N} \quad (\text{III.20})$$

Taux de réparation μ :

La probabilité de réparation d'un composant est principalement fonction du temps écoulé depuis l'instant de défaillance. Il existe un certain délai t avant que le composant puisse être réparé. Ce délai t comprend le temps de détection et le temps d'attente de l'équipe de réparation.

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \quad (\text{III.21})$$

Amélioration de la maintenabilité : l'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développant des documents d'aide à l'intervention.
- L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- L'interchangeabilité et la standardisation.
- La facilité de remplacement.
- L'aide au diagnostic.

Il assurera de ce fait la réduction des durées de détection des pannes d'état, diminuant, ainsi les TTR l'amélioration de la maintenabilité d'une manière considérable.

La maintenance doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes :

1. Disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
2. Utilisation des systèmes d'aide au diagnostic.
3. Utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne.
4. Disponibilité des accessoires outillages.

III.8.3. LA DISPONIBILITE :

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ». Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- ✓ Avoir le moins possible d'arrêts de production.
- ✓ Être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

III.8.3.1. LES TYPES DE DISPONIBILITE :

1) Disponibilité intrinsèque théorique :

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes de réparations, ce qui donne :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{III.22})$$

2) Disponibilité moyenne :

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut-être évalué par les rapports suivants :

$$D_m = \frac{TCBF}{TCBF + TCI} \quad (\text{III.23})$$

TCI : Temps cumulé d'immobilisation.

3) Disponibilité opérationnelle :

Pour cette mesure, sont pris en compte les temps logistiques, ce qui donne :

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL} \quad (\text{III.24})$$

Avec : MTL : moyenne des temps logistiques.

4) Disponibilité asymptotique :

Lorsque λ et μ sont indépendants de temps et quand (t) devient grand, on constate que $D(t)$ tend vers une valeur constante. Cette valeur est souvent dénommée disponibilité asymptotique et se note A_∞ est égale à [11] :

$$A_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (III.25)$$

Avec $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ (III.26)

Et $\mu = \frac{1}{MTTR}$ (III.27)

5) Disponibilité instantanée :

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-t(\lambda + \mu)} \quad (III.28)$$

III.8.3.2. AMELIORATION DE LA DISPONIBILITE :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité).
- La réduction de la MTTR (action sur la maintenabilité).
- Fiabilité.
- Maintenabilité.
- Logistique.

III.8.3.3. A RELATION ENTRE MUT, MTBF, ET MTTR :

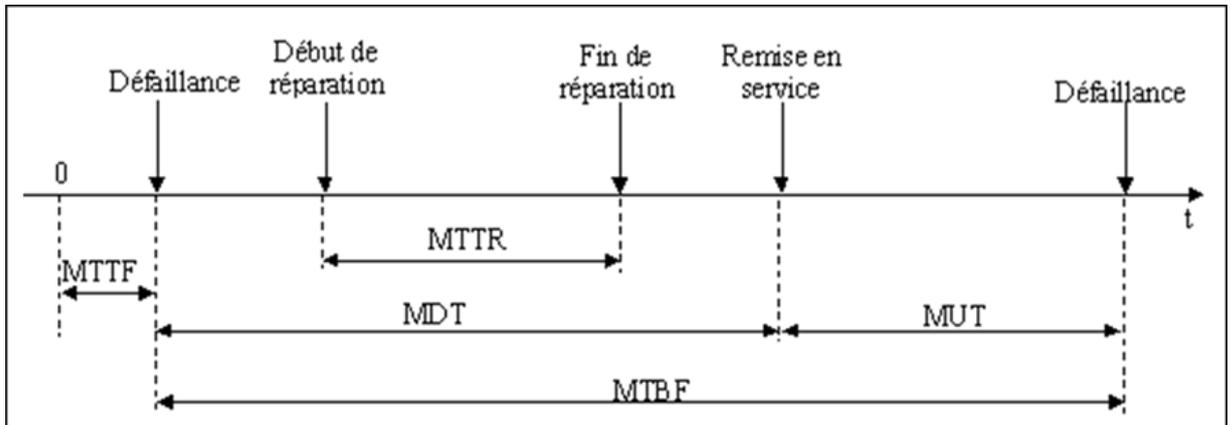


Figure III-5 : Vie d'un système : évolution dans le temps [11]

En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR et MUT, avec le risque de mal se comprendre évoquer au début du paragraphe ; on peut proposer les expressions françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

- TTR temps de réparation.
- TBF temps de bon fonctionnement.

- UT temps entre défaillances.

III.9. LA RELATION ENTRE LES NOTIONS FMD :

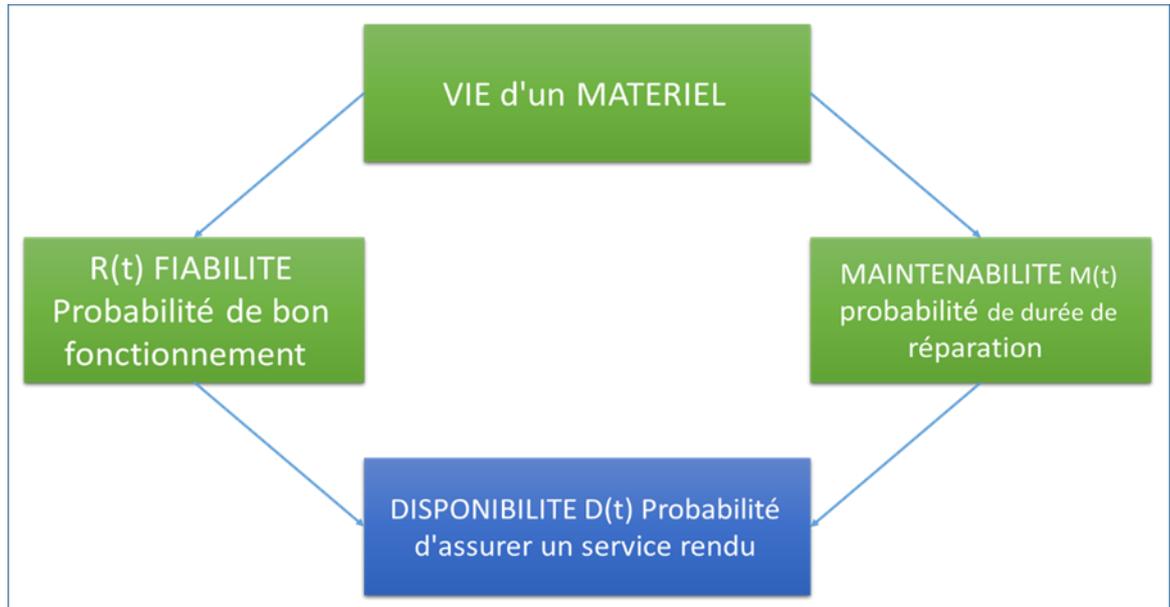


Figure III-6 : La relation entre les notions de FMD

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable.

III.10. CONCLUSION :

Au cours de ce chapitre, nous avons vu les concepts de base de la maintenance et on a défini la maintenance et leurs méthodes, les objectifs et les intérêts de la maintenance dans le domaine industriel sont présentés, ainsi que les opérations de maintenance préventive et corrective.

Dans ce chapitre aussi, nous avons expliqué les deux méthodes que nous avons choisi pour nous permettent d'analyser les défauts du système étudié, ces méthodes sont la méthode de la courbe ABC et la méthode d'AMDEC.

La courbe ABC a pour but d'extraire les éléments qui tombe fréquemment en panne pour les analyser par contre la méthode AMDEC a pour but de connaître le mode, la conséquence et la gravité des défaillances afin de déceler les causes et prioriser les types de maintenance appropriés.

CHAPITRE III : CONCEPTS DE BASE DE LA MAINTENANCE ET L'ANALYSE FMD

A la fin, nous avons présentées les différentes méthodes de calcul de la fiabilité, la fonction de répartition et le taux de défaillance ainsi que les tests de vérification de ces méthodes et la méthode FMD (la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité).

CHAPITRE IV :

L'ANALYSE STATISTIQUE

ET APPLICATION DES

METHODES SUR LA LIGNE

AERIENNE 220 KV

GHARDAIA-

OUARGLA

CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA

IV.1. INTRODUCTION :

Le choix d'une ligne aérienne est basé sur son importance et son utilité dans le réseau de transport d'énergie électrique. Pour évaluer le niveau de sureté de fonctionnement d'une ligne THT il faut d'abord extraire son historique des pannes.

Dans notre travail, on a choisi la ligne 220 kV GHARDAIA-OUARGLA Parce qu'elle est classée par GRTE et par l'OS (opérateur système) comme une ligne stratégique alimentant deux agglomérations importantes.

IV.2. HISTORIQUE DES PANNES DE LA LIGNE GHARDAIA-OUARGLA :

Le tableau suivant résume l'historique des pannes de la ligne GHARDAIA – OUARGLA de l'année 2019/2020.

Tableau IV-1: Historique des pannes de la lignes GHARDAIA OUARGLA

N°	Défaillances	Date de débit de panne	Date de fin de Panne	Temps d'arrêt (h)
01	Pollution de la ligne	05/01/2019	17/01/2019	93
02	Manque accessoire ligne (entretoise, contre poids ...)	29/01/2019	29/01/2019	03
03	Dégradation peinture pylônes	02/02/2019	02/02/2019	04
04	Mauvaise résistance de terre de quelques pylônes	10/02/2019	11/02/2019	07
05	Isolateurs cassée ou amorcés	02/03/2019	02/03/2019	06
06	Câble conducteur blessé	14/03/2019	14/03/2019	05
07	Amorçage corbeaux ou nids de corbeau	21/03/2019	21/03/2019	06
08	Déclenchements suite défauts ligne	29/03/2019	29/03/2019	04
09	Isolateurs cassée ou amorcés	20/04/2019	21/04/2019	08
10	Dégradation peinture pylônes	04/05/2019	06/05/2019	06

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

11	Bretelles de continuité électrique abimées ou lâchées	15/05/2019	16/05/2019	10
12	Pollution de la ligne	18/05/2019	30/05/2019	94
13	Isolateurs amorcés suite pollution	08/06/2019	21/06/2019	101
14	Mauvaise résistance de terre de quelques pylônes	01/07/2019	01/07/2019	04
15	Câble blessé	09/07/2019	20/07/2019	84
16	Manque cornières pylônes	11/08/2019	14/08/2019	15
17	Amorçage corbeaux ou nids de corbeau	20/08/2019	22/08/2019	07
18	Dégradation peinture pylônes	06/09/2019	06/09/2019	02
19	Câble conducteur blessé	08/10/2019	10/10/2019	06
20	Manque accessoire ligne (entretoise, contre poids ...)	01/11/2019	01/11/2019	07
21	Déclenchements suite défauts ligne	03/12/2019	04/12/2019	09

IV.3. L'APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE :

IV.3.1. LA METHODE DE LA COURBE ABC :

Pour appliquer la méthode ABC, il faut d'abord classer les Défaillances de la ligne par ordre décroissant en suite calculer son cumul et son pourcentage et calculer après le cumul et le pourcentage de fréquence de panne comme il est mentionné dans le tableau suivant :

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

Tableau IV-2: Analyse ABC (Pareto)

N°	Défaillances	Fréquence	Temps d'arrêt	Cumul de fréquence	Cumul de T-A	Cumul de fréquence%	Cumul de T-A %
01	Pollution de la ligne	02	187	02	187	09.52	39
02	Isolateurs amorcés suite pollution	01	101	03	288	14.28	60
03	Câble blessé	01	84	04	372	19.04	77
04	Manque cornières pylônes	01	15	05	387	23.80	80
05	Isolateurs cassée ou amorcés	02	14	07	401	33.33	83
06	Amorçage corbeaux ou nids de corbeau	02	13	09	414	42.85	86
07	Dégradation peinture pylônes	03	12	12	426	57.14	89
08	Déclenchements suite défauts ligne	02	12	14	438	66.66	91
09	Mauvaise résistance de terre de quelques pylônes	02	11	16	449	76.19	94
10	Câble conducteur blessé	02	11	18	460	85.71	96
11	Bretelles de continuité électrique abimées ou lâchées	01	10	19	470	90.47	97
12	Manque accessoire ligne (entretoise, contre poids ...)	02	10	21	480	100	100

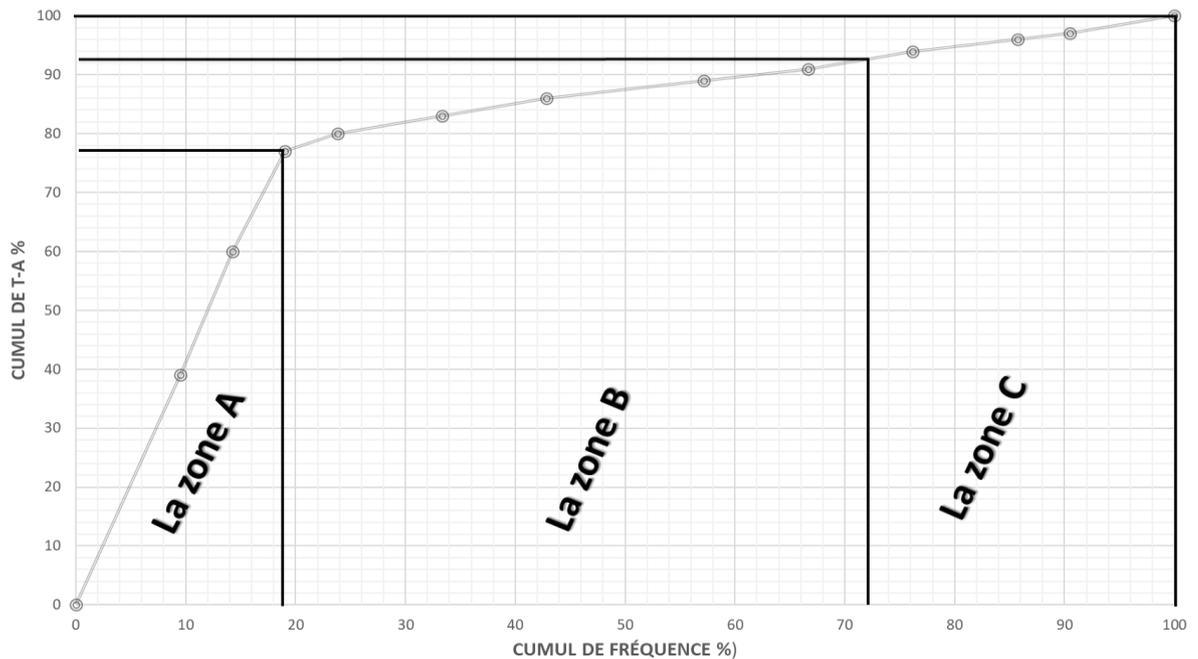


Figure IV-1 : la courbe de Pareto

La figure ci-dessus (Fig. IV.1) montre la présentation graphique de la courbe ABC, cette courbe illustre le pourcentage du cumul des temps arrêts en fonction du pourcentage des cumule des fréquences des défaillances.

Nous observons que notre la courbe ABC contient trois zones :

Zone "A" : 77% des heures des temps arrêts représente les 20% des Défaillances cette zone nous indique la gravité des défaillances qui les contient, c'est-à-dire il faut concentrer les entretiens et les interventions (Pollution de la ligne, Isolateurs amorcés suite pollution, Câble blessé, Manque cornières pylônes) et comme ça nous pouvons assurer une maintenance optimisée.

Les deux autres zones "B" (16%) et "C" (7%) importante aussi, mais viennent en deuxième lieu

IV.4. LA FIABILITE :

IV.4.1. PREPARATION DES DONNEES DE LA LOI WEIBULL :

Le tableau suivant comporte les TBF (temps de bon fonctionnement) classé par ordre croissant, en fonction de la fonction de répartition (F(i)) calculés par la méthode des ranges moyen ou

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \text{ (dans notre cas } 20 < N=21 < 50 \text{)}$$

En utilisant le papier weibull nous avons tracé la courbe F(i) en fonction de TBF.

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

Tableau IV-3: Estimation de la fonction de répartition

Rangs	TBF	F(t)
01	48	0.045454545
02	96	0.090909090
03	120	0.136363636
04	144	0.181818181
05	168	0.227272727
06	192	0.272727272
07	192	0.318181818
08	192	0.363636363
09	216	0.409090909
10	216	0.454545454
11	240	0.5
12	288	0.054545454
13	288	0.590909090
14	312	0.636363636
15	360	0.681818181
16	456	0.727272727
17	528	0.772727272
18	528	0.818181818
19	528	0.863636363
20	768	0.909090909
21	768	0.954545454

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

IV.4.2. TRACE DU NUAGE DE POINT :

La figure suivante illustre la représentation graphique de la fonction de répartition sur le papier de Weibull.

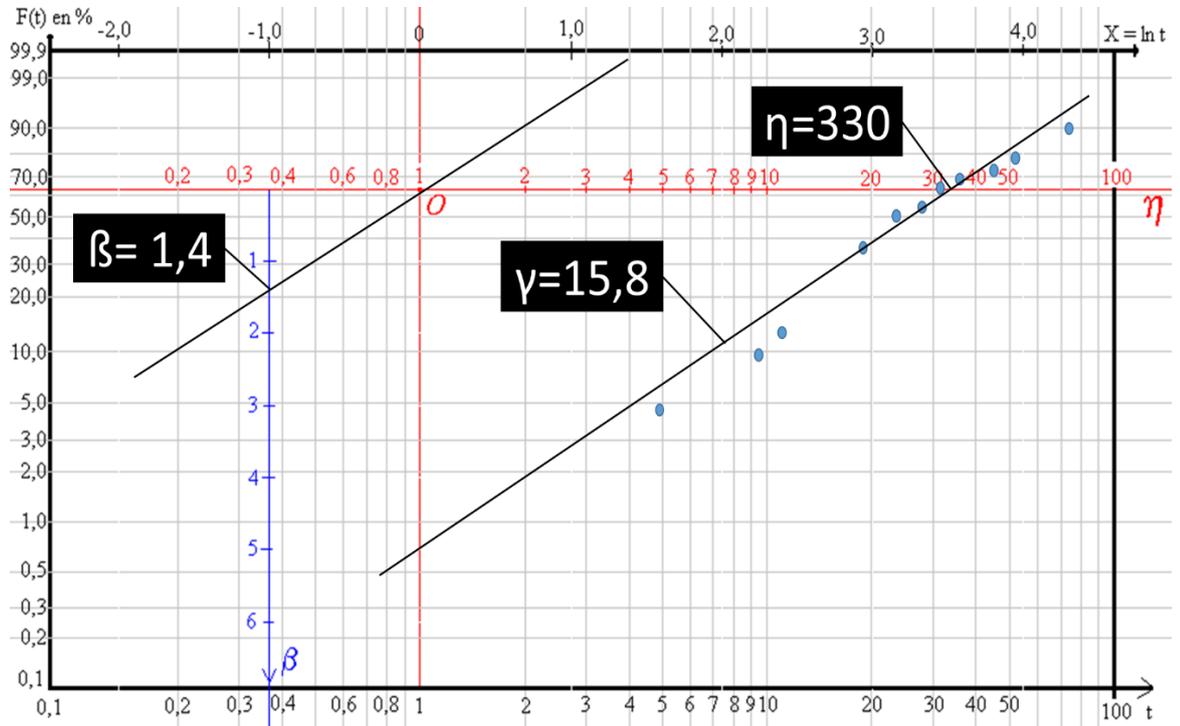


Figure IV-2: Papier fonctionnel de weibull

D'après la courbe de la figure IV.2, on peut extraire les paramètres de la loi de Weibull pour calculer la fonction de répartition théorique $F(t)$. Le calcul de $F(t)$ a pour but de choisir le modèle adéquat (acceptable). Les valeurs de ces paramètres sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-4: Les paramètres de la loi weibull

Les paramètres	La valeur
Eta (η)	330
Gamma (γ)	15.8
Beta(β)	1.4

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

IV.4.3. CALCULER MTBF :

Pour calculer le MTBF il faut d'abord déterminer la valeur de A et dans cette figure (figure IV.3) à partir de beta en peut trouver A .

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

Figure IV-3: Les valeurs A et B en fonction de β [8]

$$MTBF = A\eta + \gamma \tag{IV.1}$$

$$= 0.91142 \times 330 + 15.8 = 316.57$$

IV.4.4. DENSITE DE PROBABILITE :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \tag{IV.2}$$

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

Tableau IV-5 : Tableau de la densité probabilité en fonction du TBF

N°	TBF	f(t)
01	48	1.60×10 ⁻³
02	96	2.09×10 ⁻³
03	120	2.19×10 ⁻³
04	144	2.22×10 ⁻³
05	168	2.21×10 ⁻³
06	192	2.17×10 ⁻³
07	192	2.17×10 ⁻³
08	192	2.17×10 ⁻³
09	216	2.11×10 ⁻³
10	216	2.11×10 ⁻³
11	240	2.03×10 ⁻³
12	288	1.83×10 ⁻³
13	288	1.83×10 ⁻³
14	312	1.71×10 ⁻³
15	360	1.49×10 ⁻³
16	456	1.06×10 ⁻³
17	528	0.79×10 ⁻³
18	528	0.79×10 ⁻³
19	528	0.79×10 ⁻³
20	768	0.24×10 ⁻³
21	768	0.24×10 ⁻³

IV.4.5. LA FONCTION DE REPARTITION F (T) :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV.3})$$

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

Tableau IV-6 La fonction de répartition F(t) en fonction du TBF

N°	TBF	F(t)
01	48	0.037
02	96	0.128
03	120	0.180
04	144	0.233
05	168	0.287
06	192	0.339
07	192	0.339
08	192	0.339
09	216	0.391
10	216	0.391
11	240	0.441
12	288	0.534
13	288	0.534
14	312	0.576
15	360	0.653
16	456	0.776
17	528	0.842
18	528	0.842
19	528	0.842
20	768	0.957
21	768	0.957

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

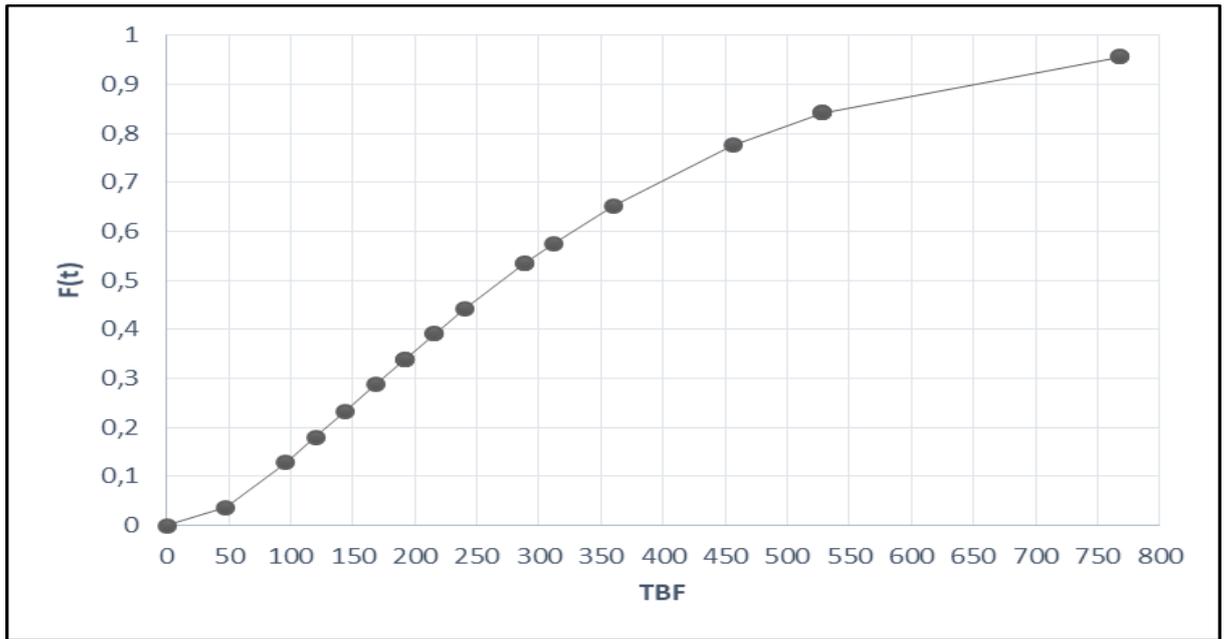


Figure IV-4: Fonction de répartition F(t) en fonction du TBF

La figure IV.4 illustre la fonction de répartition F(t) en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Cette courbe nous montre la proportionnalité entre la fonction de répartition le temps de bon de fonctionnement (TBF), ce qui nous indique clairement la dégradation et l'augmentation des problèmes au niveau de la ligne étudié durant l'année 2019/2020 et donc la diminution de la fiabilité de cette ligne durant cette année (voir tableau et figure ci-dessous).

IV.4.6. LA FONCTION DE FIABILITE R (T) :

Tableau IV-7 : La fonction de fiabilité

N°	TBF	F(t)	R(t) = 1- F(t)
01	48	0.037	0.963
02	96	0.128	0.872
03	120	0.180	0.820
04	144	0.233	0.767
05	168	0.287	0.713
06	192	0.339	0.661
07	192	0.339	0.661
08	192	0.339	0.661
09	216	0.391	0.609

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

10	216	0.391	0.609
11	240	0.441	0.559
12	288	0.534	0.466
13	288	0.534	0.466
14	312	0.576	0.424
15	360	0.653	0.347
16	456	0.776	0.224
17	528	0.842	0.158
18	528	0.842	0.158
19	528	0.842	0.158
20	768	0.957	0.043
21	768	0.957	0.043

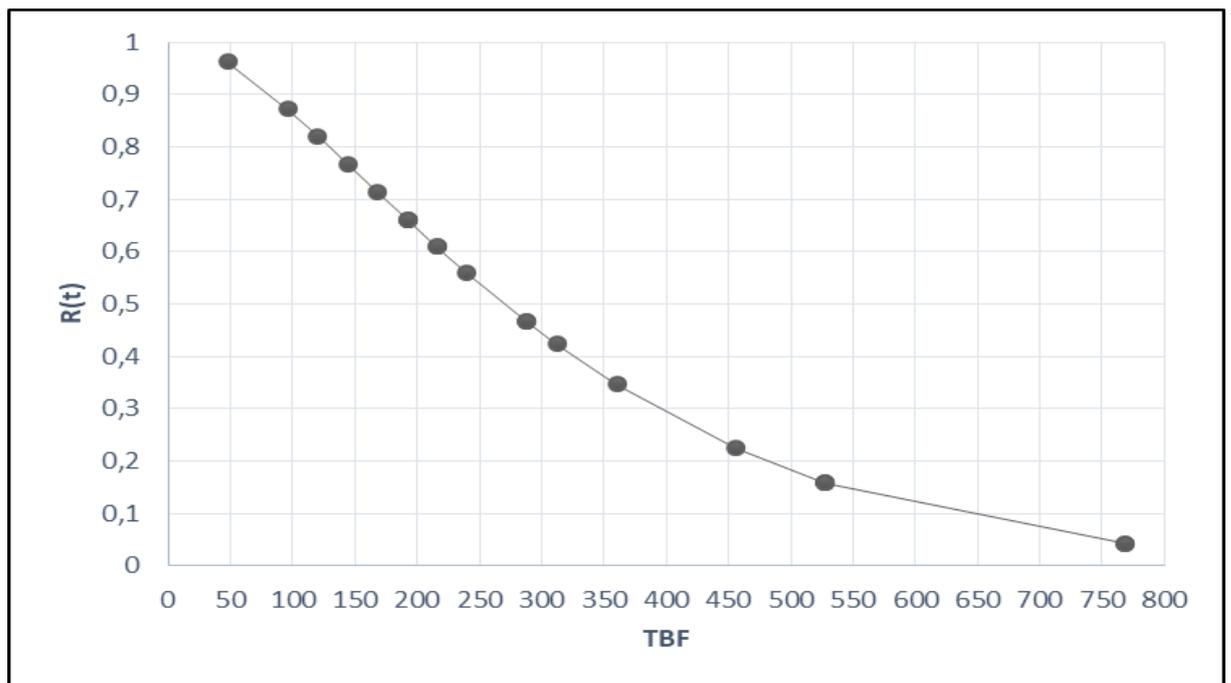


Figure IV-5: La fonction de fiabilité R(t) en fonction de TBF.

IV.4.7. TAUX DE DEFAILLANCE :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)x^2}{1-F(t)} = \frac{\beta}{n} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^\beta} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^\beta}} \rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{n} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{n}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.4})$$

**CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR
LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA**

Tableau IV-8 taux de défaillance

N°	TBF	λ (t)
01	48	0.038
02	96	0.146
03	120	0.219
04	144	0.303
05	168	0.402
06	192	0.512
07	192	0.512
08	192	0.512
09	216	0.642
10	216	0.642
11	240	0.788
12	288	1.145
13	288	1.145
14	312	1.358
15	360	1.881
16	456	3.464
17	528	5.329
18	528	5.329
19	528	5.329
20	768	22.255
21	768	22.255

CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA

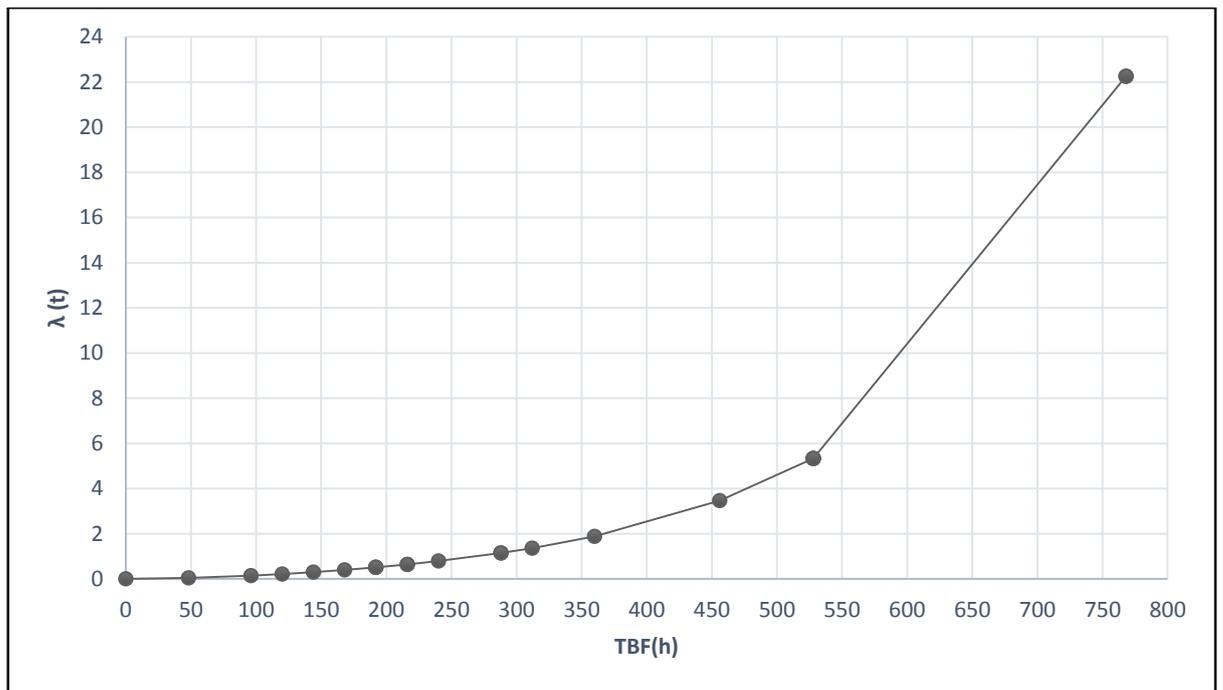


Figure IV-6: Taux de défaillance l'ambdat

La Figure IV.6 présente le Taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF), dont nous trouvons la confirmation des résultats des courbes précédentes.

IV.5. RECOMMANDATION :

Puisque les estimateurs du paramètre d'échelle dans notre étude ont des valeurs strictement supérieures à l'unité, alors le dispositif considéré est dans la phase de vieillesse qui coïncide avec un taux de défaillance croissante, ce qui justifie la mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive.

IV.6. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, j'extrait l'historique de panne de la ligne 220 kV GHARDAIA OUARGLA à travers le stage que j'ai fait à SONALGAZ/GRTE de Ghardaïa.

Nous avons opté pour la loi weibull pour calculer la MTBF, fiabilité, densité de probabilité, fonction de répartition et le taux de défaillance, dont nous avons constaté une diminution remarquable de la fiabilité, une augmentation du taux de défaillance et du temps d'arrêt suite aux défaillances.

CHAPITRE IV : ANALYSE STATISTIQUE ET APPLICATION DES METHODES SUR LA LIGNE AERIENNE 220 KV GHARDAIA-OUARGLA

Les résultats trouvés nous indique fortement qu'il y a des lacunes au niveau de la maintenance préventive exercée par l'entreprise et qu'il est nécessaire de changer cette politique pour bien optimiser sa maintenance et donc élargir la période de maturité de la courbe de binoir.

CONCLUSION

GENERALE

La ligne 220 kV GHARDAIA-OUARGLA est une ligne très importante et stratégique en Algérie à cause de favorise et facilite l'alimentation des bases pétrolières et des usines industrielles de cette région critique, c'est la raison qui m'a motivé pour faire ces études présentées dans ce mémoire dans le but d'améliorer et optimiser la maintenance de cette indispensable liaison électrique.

J'ai entamé mon travail avec des généralités sur l'entreprise SONELGAZ /GRTE et les réseaux électriques, après, j'ai consacré toute un chapitre pour mentionner et bien expliquer les propriétés et les caractéristiques d'une ligne aérienne électrique HT/THT.

Dans le troisième chapitre j'ai montré les concepts de base de la maintenance et l'analyse FMD.

Le dernier chapitre ou la partie pratique où j'ai fait des visites à SONELGAZ/GRTE de Ghardaïa pour avoir des connaissances pratiques sur le fonctionnement et la mission de cette entreprise d'une part et pour extraire l'historique des défaillances et anomalies de la ligne choisie pour l'étude d'autre part.

L'historique des défaillances de la ligne 220 kV Ghardaïa-Ouargla m'a permis d'appliqué la méthode ABC pour extraire les éléments les plus perturbés (enregistré un taux de défaillance élevés), ce sont les défaillances inclus dans la zone A de la courbe de Pareto.

Afin de mesurer et d'analyser la maintenance appliquée par l'entreprise et dans le but d'améliorer et optimiser cette dernière, j'ai choisi la méthode de weibull pour calculs la fonction de répartition, la fiabilité, la densité de probabilité de défaillance et le taux de défaillance.

Les résultats obtenus après l'application de la méthode FMD nous a indiqué la diminution de la fiabilité de cette ligne, c'est-à-dire l'augmentation du taux de défaillance expliqué par l'augmentation du temps d'arrêt par rapport au temps de bon fonctionnement.

Pour optimiser la maintenance de cette ligne je propose ce qui suit :

- ✚ Optimisation de la maintenance conditionnelle prévisionnelle systématique et conditionnelle et ce par la prise en charge des anomalies et défaillances situées dans la zone A de la courbe ABC en changeant la périodicité des entretiens et interventions relatives à ces défaillances et établi un plan d'action pour les motifs suivants :
- ✓ Dépollution de la ligne.
- ✓ Remplacement les isolateurs en verre trempé par des isolateurs en composite.

CONCLUSION GENERALE

- ✓ Installation de dispositif anti-nids de corbeau.
- ✓ Réfection peinture pylônes.
- ✓ Réparation d'un câble blessé
- ✓ Réparation ou remplacement des bretelles de continuité électrique.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] WWW.SONELGAZ.DZ.
- [2] C. CHERFIE « LE ROLE DE LA PUBLICITE ET LA PROMOTION DES VENTES POUR ATTIRER LE CONSOMATEUR ETUDE DE CAS : ENTREPRISE SONALGAZ DE MOSTAGANEM », MEMOIRE DE MASTER (2014/2015) UNIVERSITE ABDELHAMID BEN BAIS DE MOSTAGANEM.
- [3] F. KOUADRA « ETUDE DES VARIATIONS RAPIDES DE TENSION POUR LE RACCORDEMENT D'UNE PRODUCTION DECENTRALISEE DANS UN RESEAU MT », MEMOIRE DE MASTER (2003/2004) UNIVERSITE MENTOURI DE CANSTANTINE.
- [4] M. CHERIF ET K. CHERIF « CALCUL DES PROTECTIONS D'UNE LIGNE DE TRANSPORT ELECTRIQUE HTB-220KV », MEMOIRE DE MASTER (2013/2014) UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.
- [5] A. BELLAREDJ ET Y. GAOUAR « CONCEPTION ET SIMULATION D'UNE LIGNE AERIENNE DE TRANSPORT ELECTRIQUE 220 kV », MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE ABOUBAKER BELKAID – TLEMCEN.
- [6] A. BENOZZA ET J. BAKHTI « ETUDE D'UNE INTERCONNEXION DES LIGNES DE TRANSPORT 500 kV ET 220 kV » MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE MOUHAMED BOUDIAF, ORAN.
- [7] J. PASTEAU « CAHIER TECHNIQUE MERLIN GERIN. N°127 : INTRODUCTION A L'APPAREILLAGE TRES HAUT TENSION » EDITION JUIN 1984.
- [8] WWW.GOOGLE.COM.
- [8] T. WILDI « ELECTROTECHNIQUE». AVEC LA COLLABORATION DE GILBERT SYBILLE (INGENIEUR, INSTITUT DE RECHERCHE D'HYDRO-QUEBEC) 4EME EDITION : DE BOECK, 2005.
- [9] CEDRIE, (COURS MAINTENACE INDUSTRIEL CH1) 2009/2010.
- [10] DR. B. MAGHNI, COURS MAINTENACE INDUSTRIEL UNIVERSITE-OURGLA 2017.
- [11] A. DAFDAF ET O. FAID « OPTIMISATION DE LA FIABILITE D'UN SYSTEME ELECTROMECHANIQUE » MEMOIRE DE MASTER 2017/2018 UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA.

ملخص

خلال هذا العمل قمنا بتحسين صيانة الخطوط الكهربائية الجوية 220 kV الرابطة بين غرداية ورقلة في مؤسسة GRTE بغرداية عن طريق دراسة إحصائية اعطال هذا النظام (تاريخ الاعطال) مع إعطاء اقتراحات بحلول ناجحة متعلقة بهذه الأعطال من أجل إنقاص وقت التوقف وزيادة وقت التشغيل.

الكلمات المفتاحية: الصيانة، الاعتمادية، الوفرة ومنحنى ABC.

Résumé

Dans ce travail, nous allons optimiser la maintenance préventive de la ligne aérienne 220kV Ghardaïa Ouargla dans l'entreprise GRTE de Ghardaïa par une étude statistique approfondie les defaults de ce système (historique de pannes) et la préconisation des solutions efficaces concernant ces défauts pour minimiser le temps d'arrêt et agrandir le temps de bon fonctionnement.

Les mots clés : Maintenance, Fiabilité, Disponibilité et la courbe ABC.

Abstract

In this work, we will optimize the preventive maintenance of the 220kV Ghardaïa Ouargla overhead line in the GRTE company of Ghardaïa by an in-depth statistical study of the faults of this system (failure history) and the recommendation of effective solutions concerning these faults to minimize downtime and enlarge uptime.

The key words: Maintenance, Reliability, Availability and the ABC curve.