



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



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

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

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département de d'automatique et d'électromécanique

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

Master

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Électromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

Thème

Optimisation de la maintenance préventive du matériel de
télécommunication d'un réseau électrique HTB (au sein du poste
de transformation de GRTE Ghardaïa).

Présenté par :

Chouara Nour El islam et Sartorio Khaled

Soutenue publiquement le : 22/06/2023

Devant le jury composé de :

Daoudi BAHMED	Pr	Univ. Ghardaïa	Président
Bendaoui MESSAOUD	MCB	Univ. Ghardaïa	Examinateur
Zitani BRAHIM	MAA	Univ. Ghardaïa	Examinateur
Hocine MERZOUG	MAA	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Nous remercions avant tous ALLAH pour son aide, ses innombrables dons. ALLAH qui nous a donné la force, la volonté et le moral pour accomplir nos études ainsi que nos parents.

عن أبي هريرة رضي الله عنه أن النبي صلى الله عليه وسلم قال: (لا
يَشْكُرُ اللهُ مَنْ لا يَشْكُرُ النَّاسَ)

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr. Hocine MERZOUG , pour l'orientation, la confiance, la patience.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nos rencontres et de répondre à nos questions durant nos recherches.

À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements et nos respects.

Résumé :

Grâce à ce travail, nous avons pu étudier et optimiser la maintenance préventive du matériel de télécommunication d'un réseau électrique HTB situés au poste (PCG) de Ghardaïa de STE (SONELGAZ de Transport de l'électricité).

Nous avons appuyés en général et en détail sur l'étude des statistiques de toutes les défaillances des équipements de télécommunication de ce PCG enregistrées dans les années 2021/2022. Cette étude statistique et probabiliste a été basée sur des théories et des méthodes quantitative (méthode ABC, FMD) et qualitative (AMDEC), dans le but est de réduire les temps d'arrêt des pannes et de contribuer à augmenter l'efficacité et Améliorer la fiabilité des appareils de télécommunication du réseau électrique HTB.

Mots clés : matériel de télécommunication HTB, défaillances, méthode ABC, FMD, AMDEC, fiabilité.

ملخص :

خلال هذا العمل، قمنا بدراسة وتحسين الصيانة الوقائية لمعدات الاتصالات للشبكة الكهربائية HTB الموجودة في محطة STE (PCG) غرداية (شركة نقل الكهرباء).

اعتمدنا بشكل عام وتفصيلي على دراسة احصائيات جميع الاعطال الموجودة في معدات الاتصالات PCG لهذه الشركة في موسم 2022/2021. واعتمدنا من خلال هذا التريص على دراسة وتحليل هذه الاحصائيات كميًا عن طريق FMD و ABC ونوعيًا عن طريق AMDEC وهذا بهدف التقليل والحد من وقت التوقفات الناتجة عن الاعطاب و المساعدة في رفع زيادة الانتاج وتحسين موثوقية اجهزة الاتصالات.

كلمات مفتاحية : معدات الاتصالات الخاصة بالشبكة الكهربائية HTB, الاعطاب, طريقة FMD, ABC, AMDEC, الموثوقية.

Abstract:

During this work, we were able to study and optimize the preventive maintenance of the telecommunication equipment of HTB electrical network located at the Ghardaïa substation (PCG) of STE (SONELGAZ Electricity transmission).

In general and in detail, we supported the study of the statistics of all the failures of the telecommunication equipment of this PCG recorded in the years 2021/2022. This statistical and probabilistic study was based on quantitative (ABC method, FMD) and qualitative (FMECA) theories and methods, with the aim of reducing the downtime of failures and contributing to increasing the efficiency and improving the reliability of the telecommunication equipment of the HTB electrical network.

Keywords: HTB telecommunications equipment, failures, ABC method, FMD, FMECA, reliability.

Table des matières :

Résumé :	II
Liste des tableaux :	XI
Liste des abréviations :	XII
Introduction générale :	14
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise	17
1.1 Introduction :	17
1.2 Présentation générale de l'Entreprise SONELGAZ :	17
1.4 Organisation de SONELGAZ en Groupe :	18
1.5 SONELGAZ-Distribution :	18
1.6 Présentation de l'entreprise SONELGAZ - Transport de l'électricité (STE) :	18
1.6.1 Organisation STE :	20
1.6.2.1 Adresse et coordonnées du poste siège de notre étude :	21
1.6.2.2 Plan de situation du poste STE Ghardaïa :	22
1.6.2.3 Description du poste :	22
1.6.2.4 Les principales fonctions dans l'installation :	23
1.6.3 Schéma unifilaire du poste :	23
1.6.3.1 Étage 220kV :	23
1.6.3.2 Étage 60kV :	24
Chapitre 2 Généralité sur le réseau électrique HTB	26
2.1 Introduction :	26
2.2 Historique :	26
2.3 Les niveaux de tension des réseaux :	27
2.4 Les différents types des réseaux :	28
2.4.1 Le réseau de transport de l'électricité :	28
2.4.2 Le réseaux de distribution de l'électricité :	30
2.5 Généralité sur les postes électriques :	30
2.5.1 Introduction :	30
2.5.2 Définition :	31
2.5.3 Caractéristique des postes électrique :	31
2.5.4 Types des postes électriques :	31
2.5.4.1 Les postes de transformation (poste source) :	31

2.5.4.2 Les postes d'interconnexion :	31
2.5.4.3 Les postes mixtes :	32
2.5.4.4 Les postes de distribution :	32
2.5.5 Conception des réseaux HTB :	32
2.5.5.1 Simples antennes :	33
2.5.5.1.1 Architecture :	33
2.5.5.1.2 Avantages et Inconvénient :	33
2.5.5.2 Double antenne :	33
2.5.5.2.1 Architecture :	33
2.5.5.2.2 Avantages et Inconvénient :	34
2.6 Conclusion :	34
Chapitre 3 Généralité sur le matériel de télécommunication d'un réseau électrique HTB	36
3.1 Introduction :	36
3.2 Historique des Réseaux de Télécommunication :	36
3.3 Définition d'un équipement de télécommunications :	37
3.4 Les équipements de télécommunications d'un réseau électrique HTB :	37
3.4.1 Courants Porteurs en ligne (CPL) :	37
3.4.1.1 Définition :	37
3.4.1.2 Principe de Fonctionnement :	38
3.4.2 Circuit Bouchon :	38
3.4.2.1 Principe de fonctionnement de circuit bouchon :	38
3.4.3 Câble de garde fibre optique (OPGW) :	39
3.4.3.1 Définition :	39
3.4.3.2 Composition du Câble fibre optique (OPGW) :	40
3.4.3.3 Domaine d'application :	41
3.4.4 Faisceau Hertzien (FH numérique) :	41
3.4.4.1 Définition :	41
3.4.4.2 Principe de Fonctionnement de FH numérique :	42
3.4.4.2.1 Une onde radioélectrique moins coûteuse :	42
3.4.4.2.2 Une technologie "sans fil" :	42
3.4.4.2.3 Un pont radio en bande réservée :	42
3.4.4.3 Comment installer le FH numérique ?	42

3.4.5 Réflectomètre Optique (Optical time-domain reflectometer) (OTDR) :	43
3.4.5.1 Définition :	43
3.4.5.2 Principe de Fonctionnement :	44
3.4.5.3 Utilisation d'un Réflectomètre Optique (OTDR) :	44
3.4.6 Réseau étendu WAN (Wide Area Network) :	44
3.4.6.1 Définition :	44
3.4.6.2 Quel est le but d'une connexion WAN ?	45
3.4.6.3 Les Protocoles des réseaux étendus (WAN) :	46
3.4.6.3.1 Relais de trame :	46
3.4.6.3.2 Mode de transfert asynchrone :	46
3.4.6.3.3 Paquet over SONET/SDH :	46
3.4.6.3.4 TCP/IP :	46
3.4.6.4 Quelle est la différence entre le réseau étendu (WAN) et le réseau local (LAN)?	46
3.4.7 Fibre Optique Noire (FON) :	47
3.4.7.1 Définition :	47
3.4.7.2 l'intérêt de FON pour les Entreprises :	48
3.4.7.3 Les Avantages de FON :	48
3.4.8 Petit Facteur de forme Enfichable (SFP) :	48
3.4.8.1 Définition :	48
3.4.8.2 Différentes Types De SFP :	49
3.4.8.3 Principe de Fonctionnement :	50
3.4.8.4 les Avantages de SFP :	50
3.5 Conclusion :	50
Chapitre 4 : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse	52
4.1 Introduction :	52
4.2 Généralité sur la maintenance industrielle :	52
4.2.1 Définitions de la maintenance (norme NF EN 13306) :	52
4.2.2 Historique :	52
4.2.3 Fonctions de la maintenance industrielle :	53
4.2.4 La mission de la maintenance industrielle :	53
4.2.5 Organisation de la maintenance industrielle :	54
4.2.6 Les Niveaux de la maintenance (norme NF X 60-000 (2016)) :	54

4.2.7 Types de maintenance :	56
4.2.7.1 La maintenance corrective :	57
4.2.7.1.1 Les différents types de maintenance corrective :	57
4.2.7.1.2 Les objectifs de la maintenance corrective :	57
4.2.7.1.3 Les opérations de la maintenance corrective :	57
4.2.7.2 Maintenance préventive (norme NF EN 13306) :	58
4.2.7.2.1 Les différents types de maintenance préventive :	58
4.2.7.2.2 Les objectifs de la maintenance préventive :	58
4.2.7.2.3 Opérations de maintenance préventive :	59
4.2.7.3 Maintenance améliorative :	60
4.3 Les différentes méthodes d'analyse utilisées en maintenance :	60
4.3.1 Méthode ABC (Diagramme de Pareto) :	60
4.3.1.1 Définition :	60
4.3.1.2 Objectif de méthode ABC :	60
4.3.1.3 gestion et comptabilité de méthode ABC :	60
4.3.1.4 Méthodologie de la méthode ABC :	61
4.3.2 La méthode QQQQCP :	62
4.3.2.1 Définition :	62
4.3.2.2 Les objectifs de la méthode :	63
4.3.2.3 Principe de la méthode :	63
4.3.2.4 Les avantages de la méthode QQQQCP :	64
4.3.3 Méthode AMDEC :	64
4.3.3.1 Définition :	64
4.3.3.2 Application de l'AMDEC :	65
4.3.3.3 Les différents types d'AMDEC :	65
4.3.3.4 Objectif de la méthode l'AMDEC :	66
4.3.3.5 Les étapes d'application :	67
4.3.4 Diagramme cause-effets (méthode d'Ishikawa, 5M ou en arête de poisson) :	68
4.3.4.1 Définition :	68
4.3.4.2 Pourquoi On Utiliser le diagramme d'Ishikawa ?	69
4.3.4.3 Diagramme D'Ishikawa :	69
4.3.4.4 Les avantages de diagramme cause-effets :	70

4.3.5 La méthode de l'arbre de défaillance :	70
4.3.5.1 Définition :	70
4.3.5.2 Objectives de l'arbre de défaillance :	70
4.3.5.3 Liens entre les évènements : portes logiques	71
4.3.5.4 Construction de l'arbre de défaillance :	71
4.3.6 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) :	73
4.3.6.1 Fiabilité :	73
4.3.6.1.1 Définition :	73
4.3.6.1.2 Intérêt de l'étude de la fiabilité :	73
4.3.6.1.3 Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF) :	74
4.3.6.1.3.1 Taux de défaillance (λ) :	74
4.3.6.1.3.2 Temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) :	74
4.3.6.1.4 Les lois usuelles utilisées dans le calcul de la fiabilité (discrète et continue) :	75
4.3.6.2 Maintenabilité :	77
4.3.6.2.1 Définition :	77
4.3.6.2.2 Les types de Maintenabilité :	78
4.3.6.2.3 Taux de réparation μ :	78
4.3.6.2.4 La fonction de maintenabilité :	78
4.3.6.3 Disponibilité :	79
4.3.6.3.1 Définition :	79
4.3.6.3.2 Types de disponibilité :	79
4.3.6.3.3 Les relations entre FMD :	79
4.4 Conclusion :	81
Chapitre 5 Application des outils d'analyse sur les données de l'entreprise	83
5.1 Introduction :	83
5.2 Historique des Pannes :	83
5.3 L'application des méthodes d'analyse :	84
5.3.1 Application de la loi de Pareto (la courbe ABC) :	84
5.3.2 L'analyse FMD :	88
5.3.2.1 La Fiabilité :	88
5.3.2.2 La Maintenabilité :	97
5.3.2.3 La Disponibilité :	99

5.3.2.3.1 Disponibilité intrinsèque au asymptotique :	99
5.3.2.3.2 Disponibilité instantanée :	100
5.3.3 L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC) : 102	
5.3.3.1 Tableau AMDEC :.....	103
5.4 Conclusion :.....	105
Conclusion générale :	107
Bibliographie :.....	110
Les Annexes :	114

Liste des Figures :

Chapitre 1

FIGURE 1-1 : LES REGIONS DE TRANSPORT DE L'ELECTRICITE.....	23
FIGURE 1-2 : ORGANIGRAMME GENERALE DE STE.....	24
FIGURE 1-3 : PLAN DE SITUATION DE POSTE STE GHARDAÏA.....	26
FIGURE 1-4 : DESCRIPTION DE POSTE STE GHARDAÏA.....	26
FIGURE 1-5 : SCHEMA UNIFILAIRE DE POSTE STE GHARDAÏA ETAGE 220KV.....	27
FIGURE 1-6 : SCHEMA UNIFILAIRE DE POSTE STE GHARDAÏA ETAGE 60KV.....	28

Chapitre 2

FIGURE 2-1 : DIFFERENTES TYPES DE NIVEAUX DE RESEAUX.....	31
FIGURE 2-2 : LES FRONTIERES DU RESEAU ELECTRIQUE.....	33
FIGURE 2-3 : SCHEMA DU RESEAU DE TRANSPORT ELECTRIQUE.....	33
FIGURE 2-4 : POSTE DE DISTRIBUTION SUR SUPPORT.....	33
FIGURE 2-5 : POSTE DE DISTRIBUTION CABINE.....	36
FIGURE 2-6 : ARCHITECTURE SIMPLE ANTENNE.....	36
FIGURE 2-7 : ARCHITECTURE DOUBLE ANTENNE.....	37

Chapitre 3

FIGURE 3-1 : CIRCUIT BOUCHON.....	43
FIGURE 3-2 : CABLE DE GARDE FIBRE OPTIQUE.....	44
FIGURE 3-3 : COMPOSITION DE CABLE DE GARDE FIBRE OPTIQUE (OPGW).....	44
FIGURE 3-4 : FAISCEAU HERTZIEN.....	46
FIGURE 3-5 : REFLECTOMETRE OPTIQUE.....	48
FIGURE 3-6 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE REFLECTOMETRE OPTIQUE..	49
FIGURE 3-7 : RESEAUX ETENDUS (WAN).....	50
FIGURE 3-8 : LA DIFFERENCE ENTRE LE RESEAU ETENDU (WAN) ET LE RESEAU LOCAL (LAN).....	52
FIGURE 3-9 : FIBRE OPTIQUE NOIRE.....	52
FIGURE 3-10 : PETIT FACTEUR DE FORME ENFICHABLE SFP.....	54

FIGURE 3-11 : EVOLUTION DE PETIT FACTEUR DE FORME ENFICHABLE SFP.....	54
FIGURE 3-12 : SFP PORT.....	55

Chapitre 4

FIGURE 4-1 : LES 5 NIVEAUX DE MAINTENANCE.....	61
FIGURE 4-2 : SCHEMA RESUME LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE.....	61
FIGURE 4-3 : CLASSEMENT DE METHODE ABC.....	66
FIGURE 4-4 : METHODE QQQQCP.....	67
FIGURE 4-5 : LES TYPES DE L'AMDEC.....	71
FIGURE 4-6 : PROCESSUS DE L'AMDEC.....	73
FIGURE 4-7 : DIAGRAMME D'ISHIKAWA.....	74
FIGURE 4-8 : PORTES ET, OU, R/N.....	76
FIGURE 4-9 : EXEMPLE D'UN ARBRE DE DEFAILLANCE.....	78
FIGURE 4-10 : ÉVOLUTION DU TAUX DE DEFAILLANCE AU COURS DU TEMPS...79	79
FIGURE 4-11 : REPAIRE DU PAPIER DE WEIBULL.....	81
FIGURE 4-12 : RELATIONS FMD.....	84
FIGURE 4-13 : LES TEMPS DE LA MAINTENANCE.....	85

Chapitre 5

FIGURE 5-1 : LA COURBE ABC.....	91
FIGURE 5-2 : COURBE DE WEIBULL.....	94
FIGURE 5-3 : FONCTION DE REPARTITION FE(T) EN FONCTION DU TBF.....	97
FIGURE 5-4 : COURBE DE FIABILITE.....	99
FIGURE 5-5 : DENSITE DE PROBABILITE EN FONCTION DU TBF.....	100
FIGURE 5-6 : COURBE DE TAUX DE DEFAILLANCE.....	101
FIGURE 5-7 : LA COURBE DE MAINTENABILITE.....	104
FIGURE 5-8 : LA COURBE DE DISPONIBILITE INSTANTANEE.....	106

Liste des tableaux :

Chapitre 4

TABLEAU 4-1 : SCHEMA DE FONCTION DE MAINTENANCE.....	53
TABLEAU 4-2 : RESUME DE LA METHODE QQQQCP.....	64

Chapitre 5

TABLEAU 5-1 : HISTORIQUE DES PANNES.....	83
TABLEAU 5-2 : ANALYSE ABC (PARETO).....	85
TABLEAU 5-3 : ESTIMATION DE LA FONCTION DE REPARTITION.....	88
TABLEAU 5-4 : PARAMETRE DE WEIBULL.....	89
TABLEAU 5-5 : COMPARAISON ENTRE LA FONCTION REELLE DE REPARTITION DES DEFAILLANCES PAR LA FONCTION DE REPARTITION THEORIQUE.....	90
TABLEAU 5-6 : LA FONCTION DE REPARTITION.....	91
TABLEAU 5-7 : CALCULE DE LA FIABILITE, LA DENSITE DE PROBABILITE ET DU TAUX DE DEFAILLANCE.....	93
TABLEAU 5-8 : CALCULE DE MAINTENABILITE.....	98
TABLEAU 5-9 : CALCULE DE LA DISPONIBILITE.....	100
TABLEAU 5-10 : FREQUENCE DES ANOMALIES.....	102
TABLEAU 5-11 : PROBABILISTES DE NON DETECTION DE DEFAILLANCE.....	102
TABLEAU 5-12 : LA GRAVITE.....	102
TABLEAU 5-13 : NIVEAUX DE LA CRITICITE.....	102
TABLEAU 5-14 : L'ANALYSE AMDEC.....	103

Liste des abréviations :

STE : SONEGAS-Transport de l'électricité.

THT : Très Haute Tension.

HTB : Haute Tension B.

HTA : Haute Tension A

BT : Basse Tension.

MT : Moyenne Tension.

kV : Kilo Volte.

REL670 : Relais de protection de distance.

D60 : Protection de distance.

REL316 : Protection de distance.

CEI : La Commission Electrotechnique Internationale.

CPL : Courants Porteurs en Ligne.

PLC : Power Line Communication

PLT : Power Line Telecommunication

PPC : Power Plus Communication

OPGW : Câble De Garde Fibre Optique (Optical Ground Wire).

OTDR : Réflectomètre Optique (Optical Time-Domain Reflectometer).

FH : Faisceau Hertzien.

FON : Fibre Optique Noir.

WAN : Réseau étendu (Wide Area Network).

ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Électroniques.

ATM : Mode de Transfert Asynchrone (Asynchronous Transfer Mode).

SFP : Petit Facteur de forme Enfichable (Small Form-factor Pluggable).

SDH : Hiérarchie Numérique Synchronique (Synchronous Digital Hierarchy).

SONET : Réseau Optique Synchrone (Synchronous Optical Network).

TCP : Transmission Control Protocol.

IP : Internet Protocol.

LAN : Local Area Network (Réseau Local).

AFNOR : Association française de normalisation.

NF : Norme Française.

EN : Européen Norme.

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité.

AdD : Arbre De Défaillance.

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

f(t) : Densité de probabilité.

F(t) : La fonction de défaillance.

R(t) : La fonction de fiabilité.

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

$\mu(t)$: Taux de réparation.

D(t) : Fonction disponibilité instantanée.

D_i : disponibilité intrinsèque

TTR : Temps de Réparation (Time To Repair).

TBF : Temps de Bon Fonctionnement (Time Between Failures).

TTA : Temps Technique D'arrêt (Time to acknowledge).

UT : Durée de fonctionnement après réparation (Up Time).

MUT : Durée moyenne de fonctionnement après réparation (Mean Up Time).

MDT : Durée moyenne d'indisponibilité (Mean Down Time).

MTBF : Temps moyen de bon fonctionnement (Mean Time Between Failure).

MTTR : temps moyen jusqu'à la réparation (mean time to repair).

MTTA : est la moyenne des temps techniques d'arrêt (mean time to acknowl

Introduction générale :

Les équipements de télécommunications, sont des équipements utilisés principalement dans toutes les différentes technologies de communication, telles que les ordinateurs, radios et téléphones, de sorte que les équipements de communication assistent pleinement les entreprises économiques à distance dans la gestion de leurs activités Parmi eux, la société SONELGAZ, qui s'appuie sur le raccordement de plusieurs réseaux électriques entre eux, en réduisant la capacité de réserve installée dans chaque réseau, afin de construire de nouvelles stations pour répondre à la demande.

Dans ce rapport, nous avons clairement répondu aux questions suivantes :

- ✎ Qu'est-ce qu'un équipement de télécommunications d'un réseau électrique HTB?
- ✎ Qu'elle est la réalité de l'entretien préventive équipements de télécommunications d'un réseau électrique HTB?

Nous avons assisté au stage pratique de fin d'études dans l'entreprise SONELGAZ-transport de l'électricité (STE) et exactement au PCG Ghardaïa, pour trouver les problèmes principaux d'obstruction de l'optimisation de l'entretien préventif du Matériel de Télécommunication du PCG en traçant les objectifs suivants :

- Connaitre bien l'organisation, la politique et la mission de l'entreprise.
- Découvrir et connaître tous les équipements du système télécommunications du réseau HTB.
- Etudier le principe de fonctionnement.
- Détecter les anomalies et les défaillances de matériels télécom.
- Analyser quantitativement et qualitativement le comportement des défaillances de matériels étudiés avec les méthodes de la maintenance industrielle.
- Donner des suggestions et proposer des recommandations à l'entreprise appuyées sur les résultats de notre étude afin d'aider l'entreprise à définir une meilleur politique de maintenance notamment la maintenance préventive.

Notre étude consiste à analyser les défaillances de l'installation en question selon trois méthodes importantes : méthode ABC, méthode AMDEC et analyse FMD.

Nous avons divisé notre travail en cinq chapitres pour atteindre ces objectifs.

Chapitre 1 : Présentation de SONELGAZ et de sa filiale STE, située dans la zone de Ghardaïa où nous menons notre étude.

Chapitre 2 : décrit des Généralité sur le réseau électrique HTB ainsi que le rôle d'un réseau électrique et des types de réseaux différents.

Chapitre 3 : contient des généralités sur le matériel de télécommunication d'un réseau électrique HTB et leur principe de fonctionnement.

Chapitre 4 : contient Les idées fondamentales de la maintenance industrielle et ces méthodes d'analyse qui nous aide à faire un bon diagnostic du notre système

Chapitre 5 : application des outils d'analyse de maintenance avec les donnes de l'entreprise, Aussi l'analyse des figures et interpréter les Résultats.

Après cette étude, des propositions et recommandation ont été présentées afin d'éliminer ou réduire les pannes en élaborant un plan d'action de maintenance préventive efficace et optimal.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

1.1 Introduction :

SONELGAZ, qui signifie Société nationale de l'électricité et du gaz, est l'une des entreprises les plus importantes d'Algérie et joue actuellement un rôle important dans notre existence et environnement.

La réorganisation de SONELGAZ en un groupe industriel a commencé avec la fusion des activités liées à la production d'électricité, à la gestion du réseau de transport d'électricité et à la gestion des réseaux de transport d'électricité et de gaz pour le marché à l'échelle nationale, À partir du 1er janvier 2004, les trois filiales de SONELGAZ, SPE, STE et STG, ont été créées.

1.2 Présentation générale de l'Entreprise SONELGAZ :

Pendant une décennie, SONELGAZ a contribué au progrès économique et social de l'Algérie. De l'époque de l'EGA (Electricité et Gaz d'Algérie), qui était un fournisseur historique d'électricité et de gaz, jusqu'à l'apparition d'un ensemble énergétique de premier plan au niveau national, reconnu et reconnu à l'échelle du continent africain et du bassin méditerranéen, SONELGAZ a marqué cette transition.

En raison de son parcours et de ses réalisations, ainsi que de ses hommes et femmes et des valeurs qui les animent, génération après génération, SONELGAZ a accompli sans relâche sa noble tâche de service public et en utilisant l'abnégation.

Un ancien ministre affirme que le Groupe SONELGAZ joue un rôle clé dans le développement social et économique du pays.

SONELGAZ offre les taux de pénétration d'électricité et de gaz les plus élevés au monde avec plus de 99 % et 60 %, respectivement. a aidé les familles algériennes à vivre mieux. Et leur a permis même dans les régions les plus éloignées du pays, d'intégrer le monde moderne.

[1]

1.4 Organisation de SONELGAZ en Groupe :

La loi n° 02-01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisation consacre non seulement l'ouverture de la production de l'électricité à la concurrence mais aussi la séparation, sous forme de filiales érigées en SPA, des fonctions de production, de transports de l'électricité et du gaz ainsi que de la distribution. Ce processus a donné lieu à partir du 1er janvier 2004 à la création de trois nouvelles filiales que sont : [2]

- ✓ **STE (SONELGAZ - Transport de l'électricité)** : assumant les fonctions de gestionnaire– du réseau transport de l'électricité et celles de la coordination du système « Production - transport »,
- ✓ **STG (SONELGAZ Transport du Gaz)** : assumant les fonctions de gestionnaire du réseau transport du gaz et celles du système gazier pour le marché national du gaz.
- ✓ **La SPE (SONELGAZ Production Electricité)** : pour la production de l'électricité.

1.5 SONELGAZ-Distribution :

Le schéma organisationnel de l'activité Distribution de l'électricité et du gaz décidé par les Pouvoirs Publics en 2017, a induit la création, le 22 mai 2017, de la Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz, dénommée SDC. Spa, résultat de la fusion - absorption des sociétés SDC, SDE, SDO et le rattachement de la SDA en tant que filiale. En juin 2019, s'inscrivant dans le cadre de la poursuite du processus de mise en vigueur de la nouvelle organisation de la Société, il a été procédé à l'absorption de la Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger devenue Région de Distribution d'Alger.

Ainsi, le métier de la Distribution devenait, désormais, réunifié sous une seule entité, celle de la Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz (SADEG)- gérant à travers ses soixante-cinq (65) **Directions de Distribution, 58 concessions électricité et gaz** qui s'étendent sur le territoire national. [3]

1.6 Présentation de l'entreprise SONELGAZ - Transport de l'électricité (STE) :

a pour objectif garantir une capacité suffisante pour les besoins de transport et de réserve en assurant l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de transport de l'électricité conformément aux lois et réglementations en vigueur et aux dispositions de la loi N° 02-01 du 05/02/2002.

STE, nerf de la transition énergétique est défini comme un ensemble d'ouvrages constitués des lignes aériennes, des câbles souterrains, des liaisons d'interconnexions internationales, des postes de transformation ainsi que de leurs équipements de téléconduite et de télécommunication, ainsi que des équipements de mesure, de contrôle et de commande serve à l'interconnexion entre les centrales électriques et le réseau électrique, ainsi qu'à la transmission de l'électricité aux clients, aux producteurs et à la distribution.

Les activités de STE sont gérées par des directions centrales et Six (06) zones de transport de l'électricité, à savoir **centre d'Alger, Oran, Sétif, Annaba et Hassi Messaoud** sont les villes les plus importantes. Les services de transport de STE sont répartis sur tout le territoire national et offrent une maintenance de proximité et une relation directe avec les clients. [3]



Figure 1-1 : Les régions de Transport de l'Electricité.

SONELGAZ - Transport de l'électricité gère un réseau constitué de :

- 32 720 Km de Lignes Haute Tension dont 5 317 Km en 400 kV.
- 373 Postes dont 26 Postes en 400kV.
- 67 598 MVA de puissance de transformation.
- 73 831 GWh d'énergie transitée.
- 21 544 Km de fibre optique. [4]

1.6.1 Organisation STE :

SONELGAZ - Transport de l'électricité gère ses opérations via les directions centrales et régionales de transport d'électricité.

La Figure suivant (1-2) montre l'organigramme général de la Société STE.

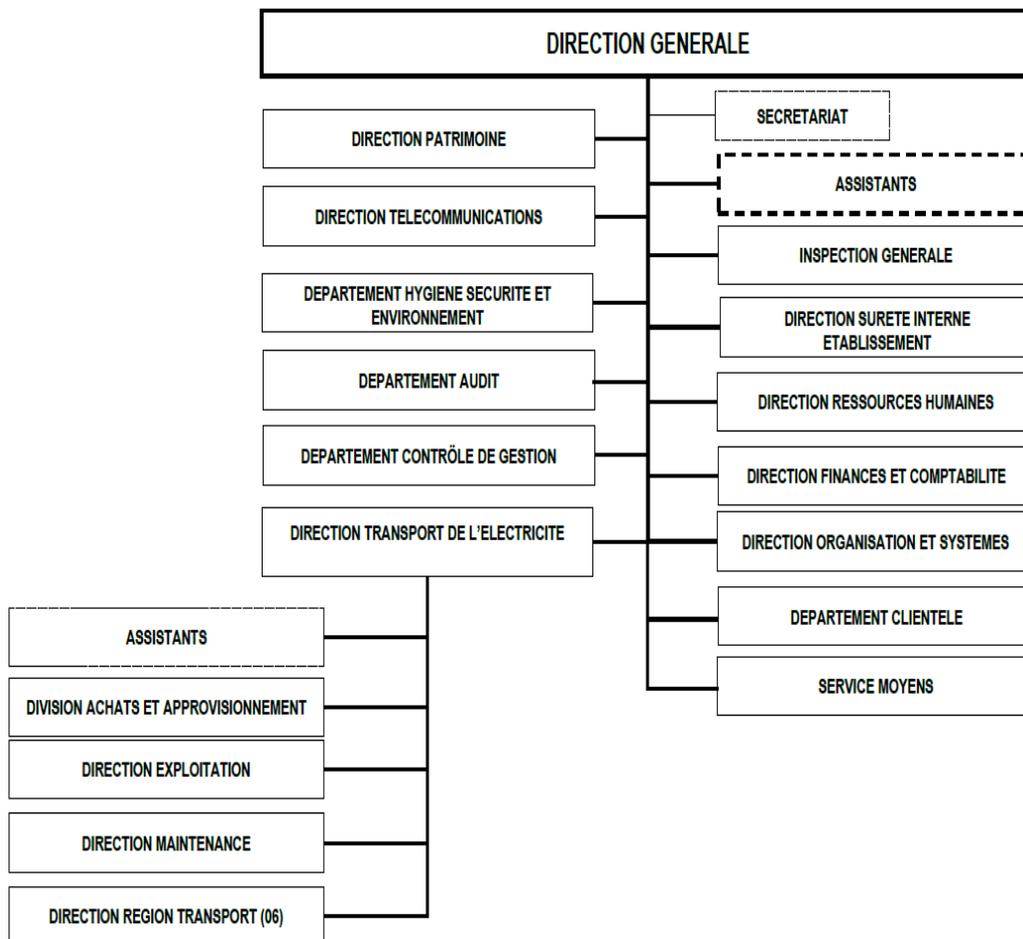


Figure 1-2 : Organigramme générale de STE.

1.6.2 Poste STE de Ghardaïa :

Le poste de transformation THT/HTB/MT 220/60/30 kV situé à Bouhraoua w. Ghardaïa il occupe une superficie de 4.12 ha. Ce poste est réalisé par l'entreprise KAHRAKIB (entreprise nationale de travaux et montage électrique) elle est mis en service contractuel en février 2001 et à partir de 02 octobre 2002 elle est exploitée.

Ce projet a permis Le renforcement de la sécurité de l'alimentation électrique de la région de Ghardaïa (clientèle domestique, agricole et industrielle) contribuera au renforcement de l'interconnexion de réseau 220 kV reliant Hassi Messaoud au nord de la région.

Il contient :

- ✚ Un étage de 220kv composé de :
- ✚ 01 jeux de barre 220 kV -3000 A.
- ✚ 04 travées ligne 220 kV.
- ✚ 02 transformateurs 220/60/10.5 kV.
- ✚ 01 travée couplage 220kV.

Un étage de 60 kV composé de :

- ✚ 02 jeux de barres 60 kV.
- ✚ 01 travée couplage.
- ✚ 02 arrivées transformateurs 220/60 kV.
- ✚ 04 travées ligne 60 kV.
- ✚ 02 travées transformateur 60/30 kV.

Un étage de 30 kV composé de :

- ✚ 02 cellules arrivées transformateur.
- ✚ 01 cellule couplage 30 kV.
- ✚ 14 cellules de départs 30 kV.
- ✚ 01 jeux de barre 30 kV.

Un ensemble de infrastructure composé de :

- ✚ 01 bâtiment de commande 30 kV et auxiliaires.
- ✚ 08 bâtiments de reliage.
- ✚ 01 local pour groupe électrogène de secoure.
- ✚ 02 sales batteries.

1.6.2.1 Adresse et coordonnées du poste siège de notre étude :

- ✚ POSTE 220/60/30kV BOUHRAOUA GHARDAIA
- ✚ TEL : 029 25 93 62
- ✚ FAX : 029 25 93 60
- ✚ HF (Haute Fréquence) : 140 / 142

1.6.2.2 Plan de situation du poste STE Gharđaia :

La figure suivante (1-3) représente la description de poste de Gharđaia.

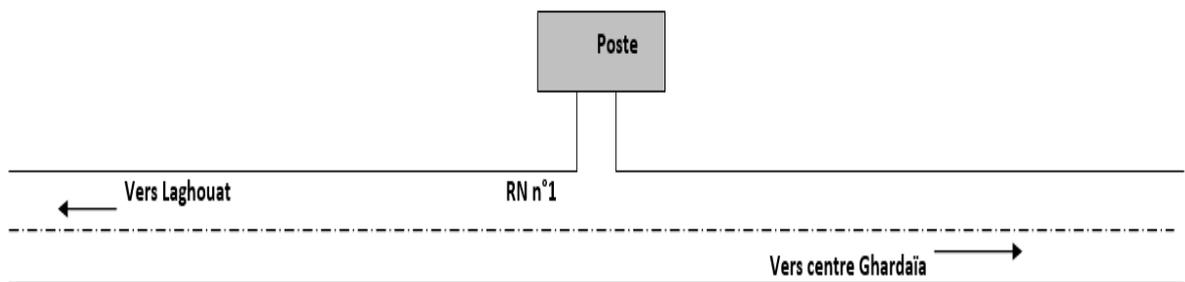


Figure 1-3 : Plan de situation de poste STE Gharđaia.

1.6.2.3 Description du poste :

La figure suivante (1-4) représente la description de poste de Gharđaia.

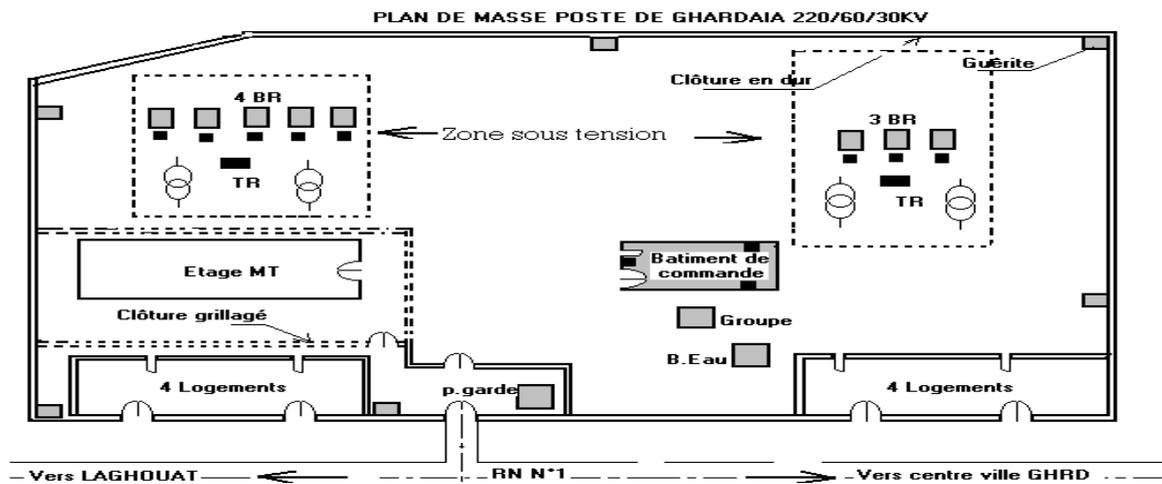


Figure 1-4 : Description de poste STE Gharđaia. [5]

1.6.2.4 Les principales fonctions dans l'installation :

Le poste contient des transformateurs d'énergie qui assurent l'alimentation de la Wilaya de Ghardaïa par l'énergie électrique produit par les groupements de production de Hassi R'mel et Hassi Messaoud. L'énergie transformée est de quatre niveaux de tension :

- ✚ 220 kV pour l'alimentation du poste à travers des lignes THT Tilghemt et Ouargla.
- ✚ 60 kV pour l'alimentation de l'étage 60 kV.
- ✚ 30 kV utilisé pour l'alimentation des clients MT et les départ SD.
- ✚ 10.5 kV pour l'alimentation des auxiliaires poste à travers des transformateurs des services auxiliaires (10.5 kV/380-220V).

Le poste est contrôlé et commandé par un système informatique puissant, qui contient des systèmes de surveillance, de traitement et de protection. La liaison entre les capteurs d'informations et l'unité de traitement est en fibre optique. Le poste est géré par un service technique de transport électrique qui exploite le réseau dans la région. [4]

1.6.3 Schéma unifilaire du poste :

1.6.3.1 Étage 220kV :

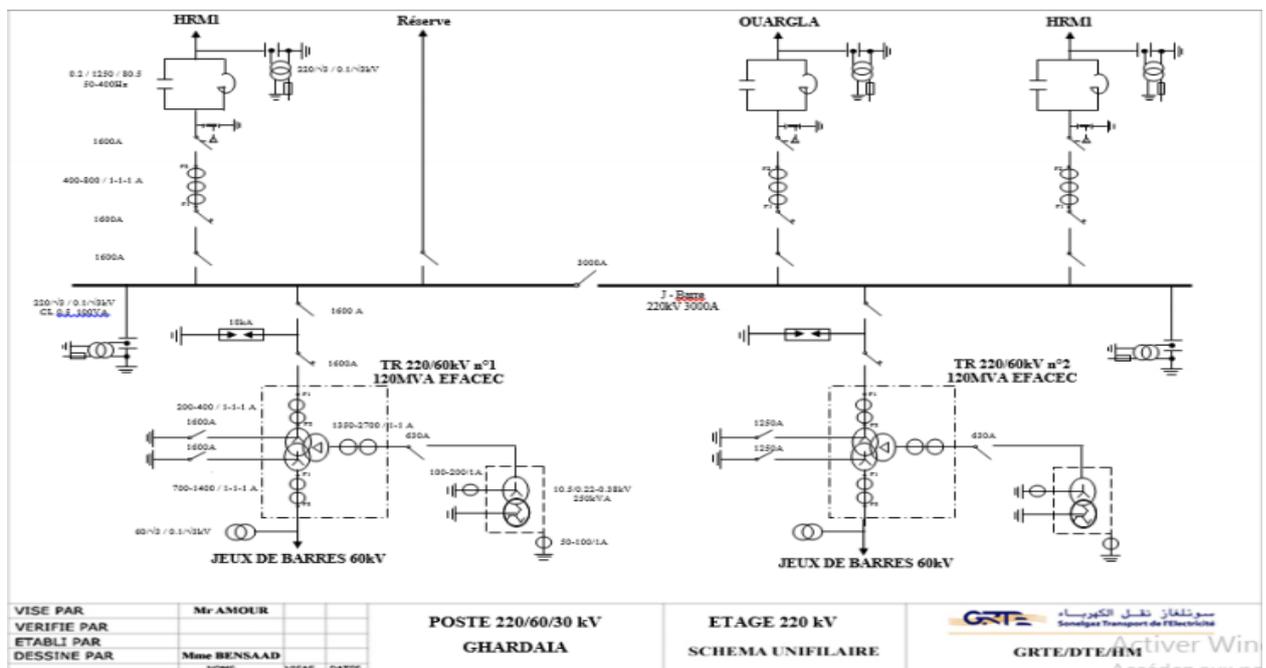


Figure 1-5 : Schéma unifilaire de poste STE Ghardaïa étage 220kV. [5]

1.6.3.2 Étage 60kV :

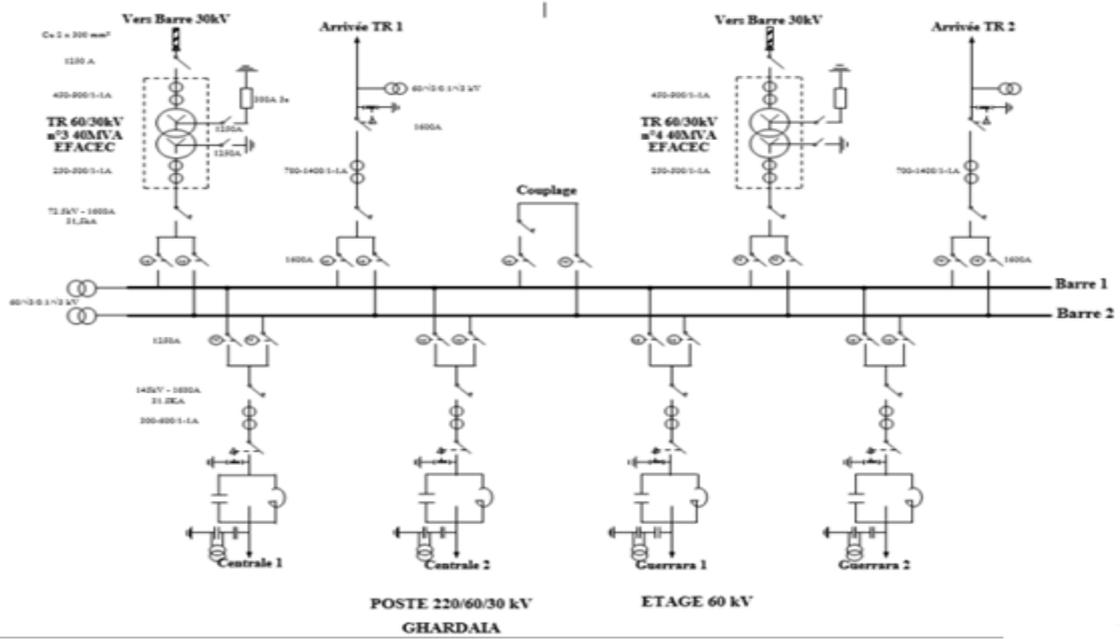


Figure 1-6 : Schéma unifilaire de poste STE Ghardaïa étage 60kV. [5]

Chapitre 2

Généralité sur le réseau électrique HTB

Chapitre 2 Généralité sur le réseau électrique HTB

2.1 Introduction :

Les réseaux électriques considérés comme un point important dans cette vie il permet de transporter et distribuer l'électricité, c'est un ensemble de dispositifs énergétiques importants accessibles, qui assure le transport de l'électricité des sources de production vers les clients.

2.2 Historique :

XIX^e siècle :

- ✚ En 1882, la première ligne à haute tension a été mise en place entre Munich et Bad Brook.
- ✚ En 1891, lors du Salon international de l'électricité à Francfort, le courant alternatif triphasé est utilisé pour la première fois sur des lignes aériennes.
- ✚ En 1892, il sera prévu de prolonger la ligne aérienne triphasée du Salon international de l'électricité jusqu'à Heilbronn. Ainsi, cette Ville est la première au globe à être alimentée en électricité via des lignes aériennes longue distance.

XX^e siècle :

- ✚ La première ligne à haute tension 110 kV est mise en service en 1912.
- ✚ En 1921, une ligne de 120 kV a été construite pour desservir les aciéries de Saint-Chamond.
- ✚ Une ligne de 170 km et 160 kV est construite par l'Énergie électrique du littoral méditerranéen dans les années 1920.
- ✚ La ligne reçoit pour la première fois une tension de 220 kV en 1923.

- ✚ La première ligne de 380 kV est mise en service en 1957. La mise en service de la ligne aérienne qui traverse le détroit de Messine en Italie a eu lieu dans la même année.
- ✚ En 1965, au Québec (Canada), Hydro-Québec met en service la première ligne au monde de 735kV.
- ✚ Des lignes à haute tension de 765 kV sont construites dans Russie et aux États-Unis dès 1967.
- ✚ En 1982, il y a eu la construction de lignes en Union soviétique, à proximité de Moscou, qui étaient alimentées par un courant alternatif triphasé à 1200 kV.

XXI^e siècle :

- ✚ La fabrication de la plus grande ligne à haute tension a commencé en 2003 dans la chine.

2.3 Les niveaux de tension des réseaux :

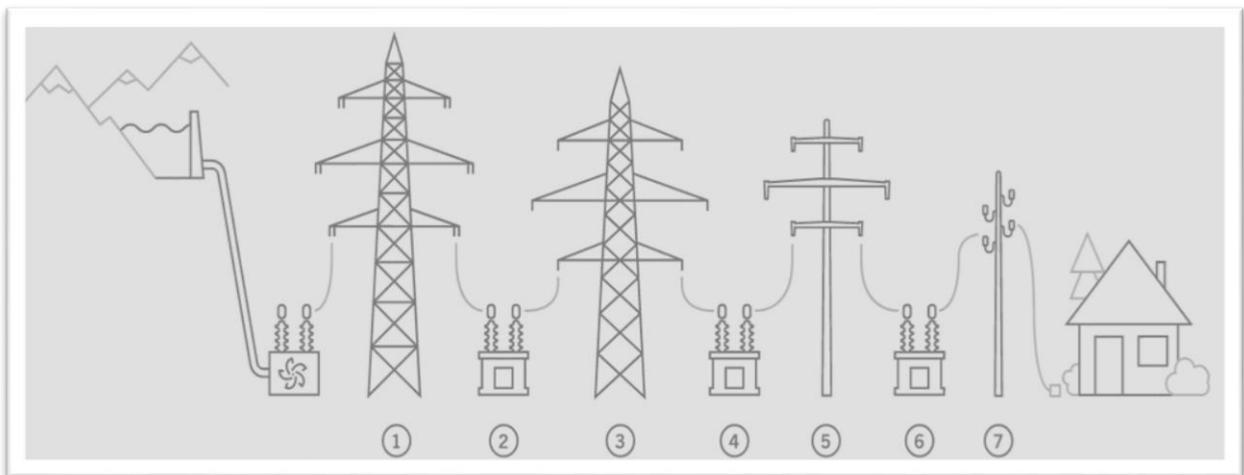


Figure 2-1 : Différents types de niveaux de réseaux.

Niveau 1 : Depuis les centrales électriques et l'étranger, le courant circule avec une tension de 380 kV ou 220 kV vers le réseau de transport. C'est le niveau à très haute tension.

Niveau 3 : Le niveau haute tension désigne les plages de tension de 36 kV à 150 kV.

Niveau 5 : Le niveau moyenne tension désigne les plages de tension de 1 kV à 36 kV.

Niveau 7 : Le niveau basse tension désigne tout ce qui est inférieur à une tension de 1 kV. C'est avec cette tension que le courant parvient dans les prises de courant des foyers.

Les niveaux 2, 4 et 6 sont considérés comme des niveaux de transformateurs. [6]

2.4 Les différents types des réseaux :

2.4.1 Le réseau de transport de l'électricité :

Les lignes haute tension (HTB) sont les lignes qui composent le réseau de transport :

- ✓ Les lignes HTB transportent beaucoup d'électricité à long terme avec peu de pertes. Le réseau de large transport ou d'interconnexion est constitué de lignes dont la tension est supérieure à 100 kilovolts (kV). Ils permettent non seulement de relier les régions et les pays entre eux, mais ils alimentent également directement les grandes zones urbaines. La plupart des lignes HTB sont de 400 kV et 225 kV.

Avec l'avancement technologique, le courant alternatif s'est généralisé, permettant aux transformateurs d'adapter les tensions à des puissances importantes.

Le réseau électrique est divisé en trois principales subdivisions : le réseau de transport, de distribution et de répartition. Le réseau électrique est hiérarchisé en fonction du niveau de tension.

Les limites entre les niveaux de tension du réseau électrique sont définies par les postes sources et les transformateurs.

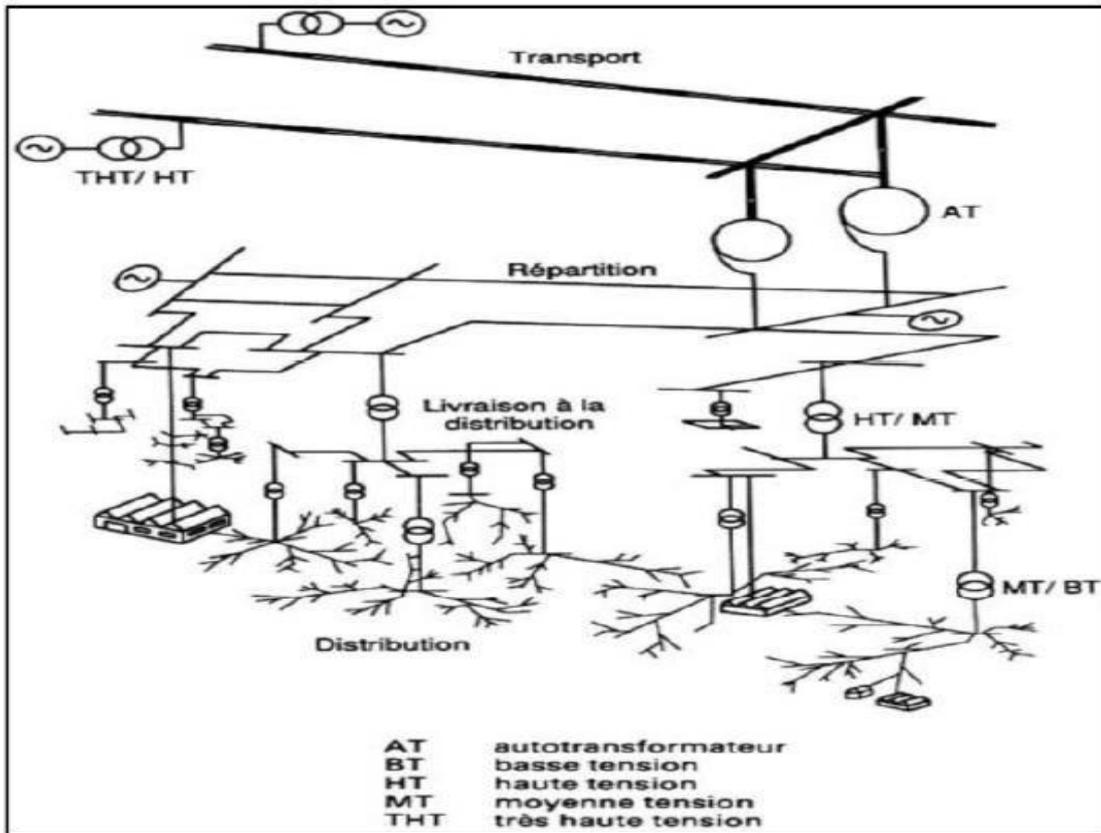


Figure 2-2 : Les frontières du réseau électrique.

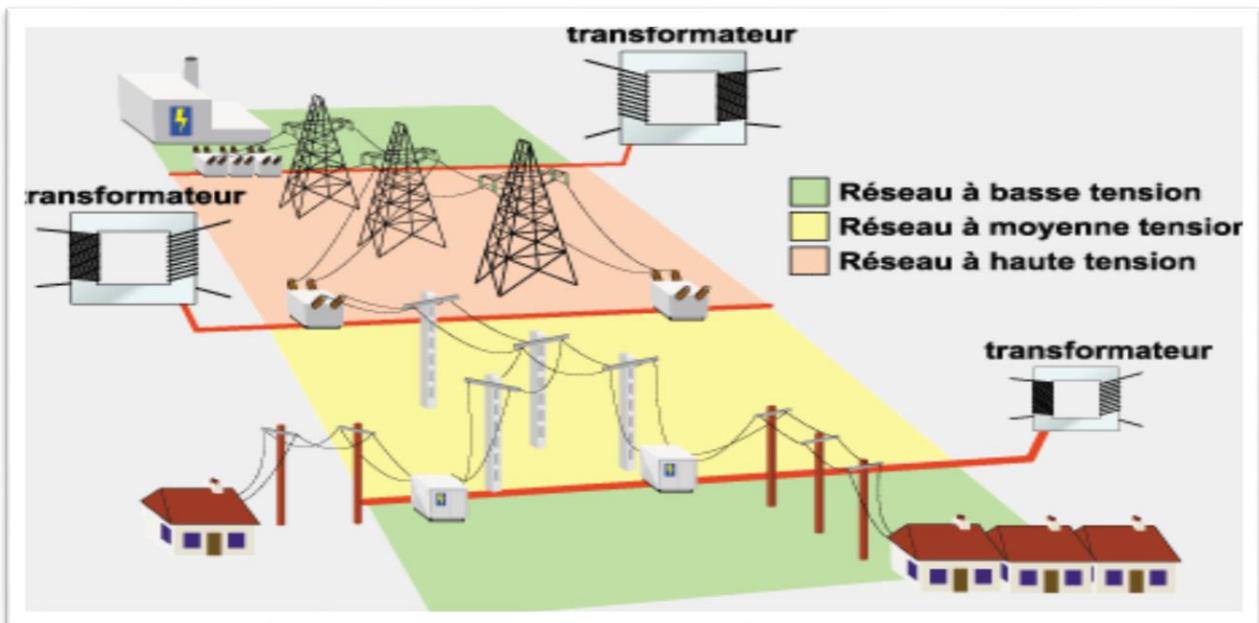


Figure 2-3 : Schéma du réseau de transport électrique. [7]

2.4.2 Le réseaux de distribution de l'électricité :

Les deux Types de lignes qui composent le réseau de distribution de l'électricité sont :

- ✓ les lignes moyennes tension (HTA) et les lignes basses tension (BT).
- ✓ Les petites industries, les petites et moyennes entreprises (PME) et les commerçants peuvent recevoir de l'électricité à l'échelle locale grâce aux lignes HTA. De plus, elles connectent les clients aux postes de transformation. Ces lignes ont des tensions allant de 15 kV à 30 kV.
- ✓ Les plus petites lignes du réseau sont les lignes BT. Ils ont une tension de 230V ou 400V. Nous les utilisons quotidiennement pour alimenter nos appareils ménagers. Ainsi, ils permettent la distribution d'énergie électrique aux ménages et aux artisans.

2.4.3 Le réseau de répartition :

Le deuxième niveau de tension est le réseau de répartition (60kV, 90kV), celui-ci assure le transport des réserves en électricité composées de l'énergie puisée au réseau de transport et de productions de plus petites échelles vers les zones de consommations et à quelques gros clients industriels directement connectés à celui-ci (mentionnant que la terminologie "réseau de répartition" tend à disparaître, ce niveau de tension étant généralement englobé dans le terme "transport"). [8]

Le gestionnaire du réseau de transport est responsable du bon fonctionnement de ces réseaux (en Algérie c'est le SONELGAZ - Transport De L'Électricité). [8]

2.5 Généralité sur les postes électriques :

2.5.1 Introduction :

Un poste électrique est un composant du réseau électrique qui transmet et distribue de l'électricité. Il est possible d'augmenter la tension électrique pour la transmission, puis de la réduire pour que les utilisateurs l'utilisent, qu'ils soient des particuliers ou des entreprises. Ainsi, les postes électriques se situent aux extrémités des lignes de distribution or de transmission et Les sous-stations sont également mentionnées, particulièrement dans le secteur ferroviaire.

2.5.2 Définition :

Selon la CEI, un poste électrique est une section d'un réseau électrique qui se trouve dans un même endroit et qui comprend principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'équipement électrique, des bâtiments et parfois des transformateurs. [9]

2.5.3 Caractéristique des postes électrique :

Les postes électriques sont des points de raccordement ou nœuds qui sont utilisés pour connecter les centrales au réseau. Ils remplissent les fonctions principales suivantes :
raccordement des centrales au réseau.

- ✓ Interactions avec les pays limitrophes.
- ✓ La change des niveaux de tension par un abaisseur or un élévateur.
- ✓ Les transformateurs et les méthodes de compensation modifient les caractéristiques de l'énergie électrique (tension, facteur de puissance...).

Ainsi que les fonctionnalités supplémentaires destinées à augmenter la fiabilité et la sûreté du réseau :

- ✓ conduire et surveiller le réseau localement ou depuis un centre de contrôle.
- ✓ la protection des lignes et des équipements pour assurer la continuité du service et prévenir la détérioration.
- ✓ Configurer et modifier la topologie du réseau électrique.

2.5.4 Types des postes électriques :

Il existe trois grandes catégories de postes électriques :

2.5.4.1 Les postes de transformation (poste source) :

Les postes de transformation permettent de passer d'un niveau de tension d'entrée donné à un niveau de tension de sortie qui peut être supérieur (on parle alors de transformateurs élévateurs) ou inférieur (abaisseur). [10]

2.5.4.2 Les postes d'interconnexion :

Les gammes de barres, qui sont des points communs triphasés, permettent d'aiguiller différents départs comme les lignes En plus de ça les transformateurs, etc.) de même tension pour atteindre cet objectif.

2.5.4.3 Les postes mixtes :

Les postes mixtes, qui sont les plus fréquents, ont un ou plusieurs niveaux de transformation et remplissent une fonction dans le réseau d'interconnexion.

2.5.4.4 Les postes de distribution :

Le but est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique aux clients résidentiels ou industriels. Il existe deux modes d'emplacement du poste de distribution selon la puissance du transformateur : [10]

→ Poste sur support :



Figure 2-4 Poste de distribution sur support.

→ Poste cabiné (maçonné) :



Figure 2-5 Poste de distribution cabiné.

2.5.5 Conception des réseaux HTB :

En général, ils s'adressent aux puissances supérieures à 10 MVA. Le poste de livraison est installé entre :

- ✓ En premier lieu, la liaison au réseau de distribution HTB.
- ✓ En revanche, la borne inférieure des transformateurs HTB/HTA.
- ✓ L'indice O signifie « position ouverte » et l'indice F signifie « position fermée ».

Les schémas suivants sont les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus courants :

2.5.5.1 Simples antennes :

2.5.5.1.1 Architecture :

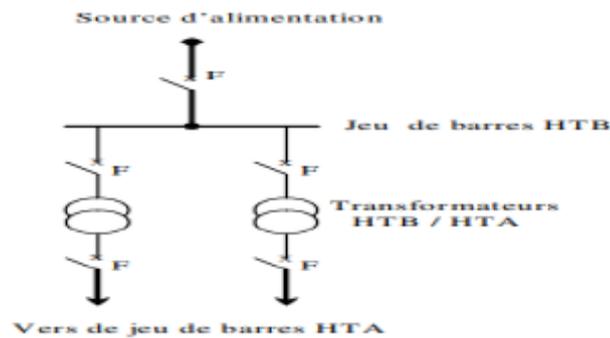


Figure 2-6 Architecture simple antenne.

2.5.5.1.2 Avantages et Inconvénient :

- ✚ Avantage : il n'existe aucun coût.
- ✚ Inconvénient : Disponibilité limitée.

2.5.5.2 Double antenne :

2.5.5.2.1 Architecture :

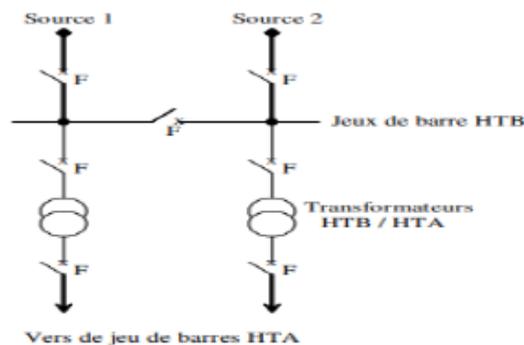


Figure 2-7 Architecture double antenne.

2.5.5.2.2 Avantages et Inconvénient :

✚ Avantages :

- ❖ Excellente disponibilité lorsque chaque source peut alimenter l'ensemble du réseau.
- ❖ Le jeu de barres peut être entretenu et peut fonctionner partiellement.

✚ Inconvénients :

- ❖ La solution est plus coûteuse que la simple alimentation antenne.
- ❖ Le jeu de barres ne peut fonctionner que partiellement in situation de maintenance.

2.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation générale du réseau électrique HTB ainsi que de ses différents matériels qui sont nécessaires à la production, aussi le transport et la distribution et la livraison d'électricité.

Ces réseaux transportent l'électricité en maintenant un équilibre entre l'offre et la demande.

Chapitre 3

**Généralité sur le matériel de
télécommunication d'un
réseau électrique HTB**

Chapitre 3 Généralité sur le matériel de télécommunication d'un réseau électrique HTB

3.1 Introduction :

Les télécommunications, étymologiquement « communication à distance », recouvrent les situations de communication immatérielle et distante, excluant ainsi la communication présente. À la différence des transports, elles ne supposent pas de déplacement matériel autre que celui des ondes électromagnétiques.

Les technologies de télécommunications, qui se développent toujours rapidement, deviennent de plus en plus pratiques et fiables pour les communications de voix, de données et même d'images entre des endroits éloignés et isolés dans le monde. Cela facilite l'organisation des élections en permettant aux agents électoraux en poste loin de leurs bureaux régionaux et nationaux de communiquer.

3.2 Historique des Réseaux de Télécommunication :

Aborder l'histoire de l'électricité signifie également tracer les grandes lignes de ce qui va devenir le paysage de la communication moderne entre les dernières décennies du XIXe siècle et l'orée du XXe siècle. De fait, l'électricité est essentiellement de la « télécommunication » pendant près de cinquante ans. Le terme a été inventé par Édouard Estaunié en 1904. Cependant, la vérité qu'il couvre est beaucoup plus ancienne. Pendant presque cent ans, il n'y a pas de distinction entre les termes « courants faibles » et « courants forts ».

Volta a inventé la pile en 1799-1800, elle a été améliorée par Antoine Becquerel en 1828 et a été perfectionnée par Daniell, un Britannique. La technique a vu le jour en 1820 grâce à la découverte de l'électro-aimant. On a pensé à utiliser le phénomène de déviation d'une aiguille aimantée sous l'influence d'un conducteur parcouru par un courant électrique pour transmettre rapidement et à distance des signaux convenus, comme l'avait souligné Maurice Daumas.

Un processus intéressant se développe à partir des travaux d'Oersted, Ampère et Arago où expérimentations pratiques discutent et interagissent avec ce qu'elles comportent d'échecs, de réussites et d'ajustements – et recherches théoriques. Des expériences de « télégraphie électrique » sont menées en Allemagne, en Russie, en Angleterre ou en France entre 1820 et 1830. ..[11]

3.3 Définition d'un équipement de télécommunications :

Le terme "équipement de télécommunications" fait référence au matériel utilisé principalement pour les télécommunications, comme les stations d'émetteur-récepteur de base, les multiplexeurs et les lignes de transmission. Il comprend diverses technologies de communication, telles que les ordinateurs, les radios et les téléphones. La distinction entre les équipements informatiques et les équipements de télécommunications a commencé à s'estomper. depuis le début des années 90, car la croissance d'Internet an entraîné une importance croissante des infrastructures de télécommunications pour le transfert de données. [12]

3.4 Les équipements de télécommunications d'un réseau électrique HTB :

La transmission s'effectue par différents médias selon les systèmes et avec des matériels très stratégiques et efficaces. Nous pouvons citer comme matériels de télécommunication utilisés pour la gestion des réseaux HTB :

- Courants Porteurs en ligne (CPL)
- Circuit Bouchon
- Câble de garde fibre optique (OPGW)
- Faisceau Hertzien numérique (FH)
- Réflectomètre Optique (OTDR)
- Réseau étendu (WAN)
- Fibre Optique Noire (FON)
- Petit Facteur de forme Enfichable (SFP)

3.4.1 Courants Porteurs en ligne (CPL) :

3.4.1.1 Définition :

On retient sous l'appellation CPL « Courants Porteurs en Ligne » toute technologie qui vise à faire passer de l'information à bas débit ou haut débit sur les lignes électriques en utilisant

des techniques de modulation avancées. les courants porteurs en ligne se retrouvent sous plusieurs mots-clés différents :

- ✓ **CPL**
- ✓ **PLC**
- ✓ **PLT**
- ✓ **PPC**

3.4.1.2 Principe de Fonctionnement :

Grâce à la mise en place de boîtiers spécifiques, la technologie CPL à Haut Débit permet de transférer des données informatiques sur le réseau électrique. Cela permet d'étendre un réseau local existant ou de partager un accès Internet via les prises électriques.

Les CPL superposent un signal électrique de 50 Hz avec un signal supplémentaire de haute fréquence (bande de 1,6 à 30 Mhz) à faible énergie. Le deuxième signal se propage dans la mise en place électrique et peut être reçu et décodé à distance. Par conséquent, tout récepteur CPL sur le même réseau électrique peut recevoir le signal CPL.

3.4.2 Circuit Bouchon :

3.4.2.1 Principe de fonctionnement de circuit bouchon :

Afin d'éviter les pertes de signal, les circuits-bouchons bloquent les autres lignes pour guider les signaux de communication haute fréquence dans des secteurs spécifiques du réseau.

La perte de signal est évitée par une forte impédance sur la bande de fréquence porteuse (40-500 kHz) De plus, pour éviter toute interférence avec la transmission électrique, l'impédance à la fréquence industrielle (50 ou 60 Hz) est minime. [13]

Les équipements de transmission par courants porteurs sur les lignes (CPL) d'énergie électrique haute et très haute tension nécessitent des circuits de rupture.

Les courants porteurs sur ligne d'énergie haute et très haute tension – CPL – sont un moyen propre au réseau de transmission de sécurité du Service du Transport d'énergie. Ce réseau sert de support aux échanges d'informations entre Dispatchings, sites de production et de transport (téléphone, télémessures, télécommandes...). Les liaisons CPL permettent d'établir des liaisons basses fréquences offrant une bande passante de 300 Hz à un peu plus de 3000Hz. [14]



Figure 3-1 : Circuit Bouchon.

3.4.3 Câble de garde fibre optique (OPGW) :

3.4.3.1 Définition :

Le câble de garde OPGW est un câble de ce type combine les fonctions de mise à la terre et de communication. Un câble OPGW contient une structure tubulaire avec une ou plusieurs fibres optiques dans celui-ci, entouré par des couches de fil d'acier et d'aluminium. [15]

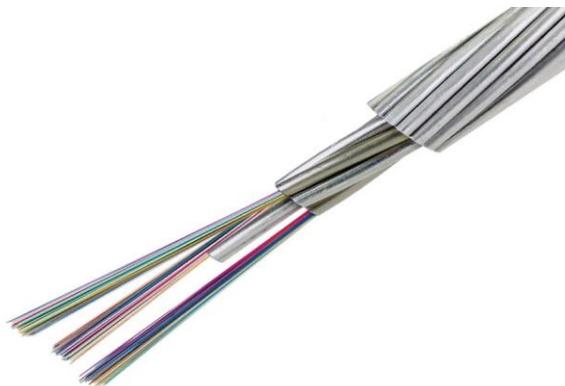


Figure 3-2 : Câble de garde fibre optique.

3.4.3.2 Composition du Câble fibre optique (OPGW) :

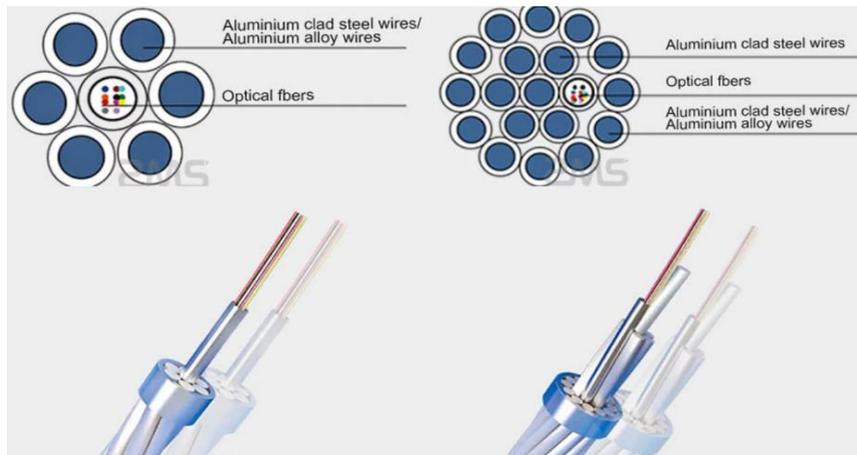


Figure 3-3 : Composition de câble de garde fibre optique (OPGW).

Les câbles de garde avec fibres optiques incorporées sont constitués de deux couches de brins toronnés lui donnant une résistance mécanique à la traction et une résistivité électrique.

- La première couche doit être composée de brins en acier couvert d'aluminium ou mélangés avec des brins d'alliage d'aluminium.
- La deuxième couche doit être composée de brins en alliage d'aluminium (Mg-Si) ou mélangés avec brins d'acier couvert d'aluminium.
- Les fibres optiques doivent être protégées soit par un jonc rainuré en aluminium, soit par une structure à tube d'acier inoxydable dans le cas où il est logé parmi les brins de la première couche ou à tube d'aluminium s'il est central. Le tube acier doit avoir un diamètre inférieur à celui des brins.

Les brins et le câble OPGW doivent être conformes aux exigences des normes de référence :

- Brin en alliage d'aluminium : CEI 60104
- Brins en acier couvert d'aluminium : CEI 61232
- OPGW complet : CEI 61089

Tout système de rangement des fibres à l'intérieur de la structure est accepté. [16]

3.4.3.3 Domaine d'application :

La présente spécification technique s'applique aux câbles de garde incorporant des circuits de télécommunication à fibres optiques, dit OPGW (Optical Ground Wire), et ses accessoires destinés à équiper les lignes électriques HT et THT.

Cette Spécification Technique définit les conditions auxquelles doivent satisfaire les câbles OPGW sus indiqués, en ce qui concerne la conception, la fabrication, les caractéristiques nominales et les essais de qualification et de réception à réaliser dans le but d'établir leur conformité aux exigences techniques demandées par l'Office National d'Electricité et de l'Eau Potable - Branche Electricité. [16]

3.4.4 Faisceau Hertzien (FH numérique) :

3.4.4.1 Définition :

Le faisceau hertzien est une technologie permettant la transmission d'informations et de données d'un point A à un point B par l'intermédiaire d'ondes radioélectriques, dont les fréquences sont comprises entre 1 et 86 GHz. Ce dispositif "sans fil" peut être rapproché du wifi domestique et dispose de nombreux avantages, Cette technologie s'améliore continuellement, stimulée par de nombreuses recherches scientifiques. [17]



Figure 3-4 : Faisceau Hertzien.

3.4.4.2 Principe de Fonctionnement de FH numérique :

3.4.4.2.1 Une onde radioélectrique moins coûteuse :

Ces ondes radioélectriques sont focalisées et concentrées grâce à des antennes directives. Afin que les ondes arrivent à bon port lors de longues distances géographiques, le trajet hertzien entre deux équipements d'extrémité est la plupart du temps sectionné en plusieurs tronçons ou "bonds", grâce à des stations relais. [17]

3.4.4.2.2 Une technologie "sans fil" :

Le faisceau hertzien, par sa technologie "sans fil", ne requiert pas d'acceptation des propriétaires des terrains traversés. En effet, dès lors que l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Électroniques, des Postes et de la Distribution de la Presse) a validé l'installation de la connexion entre deux antennes relais aucune autre demande n'est requise. [17]

Le faisceau hertzien semble être une des meilleures solutions pour développer l'installation d'internet au sein de secteurs topographies difficiles tels que les zones de montagnes, rurales, etc.

3.4.4.2.3 Un pont radio en bande réservée :

Le faisceau hertzien peut être considéré comme un pont radio en bande réservée, soit une fréquence radio privée et certifiée par l'ARCEP. Des antennes directives converties au numérique peuvent effectuer le relai. A contrario, la fibre utilise une bande passante, plusieurs usagers peuvent la partager. Aussi, les "points" intermédiaires dans les réseaux de fibre sont plus nombreux. Ces deux éléments apportant plus de latence. [17]

3.4.4.3 Comment installer le FH numérique ?

L'installation d'un faisceau hertzien est proposée par des opérateurs de réseaux. Une étude de terrain et de faisabilité est alors nécessaire :

1. En fonction de l'adresse de l'entreprise concernée, un premier pronostique de faisabilité peut être prononcé ainsi qu'un budget prévisionnel ;

2. Suite à un premier accord de principe, l'opérateur se rend sur le terrain afin d'effectuer une étude approfondie ;
3. Une fois la faisabilité du projet confirmée, la commande est alors déployée dans un délai de 8 à 20 semaines, en fonction de l'opérateur. [17]

3.4.5 Réflectomètre Optique (Optical time-domain reflectometer) (OTDR) :

3.4.5.1 Définition :

Un réflectomètre optique (OTDR) est un instrument de test utilisé pour caractériser, dépanner et entretenir les réseaux de télécommunication en fibre optique. Un réflectomètre optique injecte des impulsions lumineuses provenant d'un laser à travers une fibre optique et analyse la lumière réfléchie. On considère ces mesures comme étant unidirectionnelles car la lumière est insérée à une extrémité du lien de fibre optique. [18]

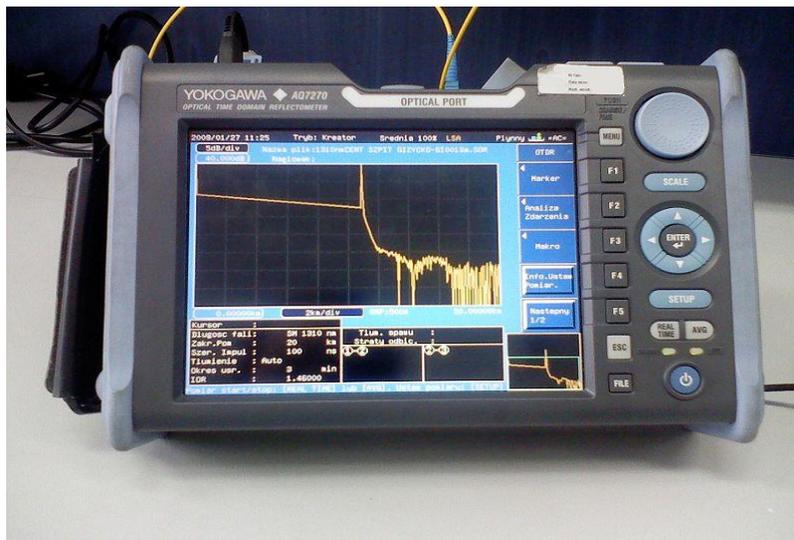


Figure 3-5 : Réflectomètre Optique.

3.4.5.2 Principe de Fonctionnement :

Un réflectomètre optique comprend un circuit de cadencement extrêmement précis (ou base de temps), une photodiode et une diode laser. La lumière laser produit une impulsion optique. Spécifique à une longueur d'onde. Cette impulsion optique traverse la fibre qui a été testée. Et réfléchit ou rétrodiffuse une petite quantité de lumière diffusée en direction de la photodiode contenue dans l'OTDR. La valeur de l'affaiblissement (d'insertion et de réflectance), le type et la localisation d'un événement dans le réseau optique sont indiqués par l'intensité de la lumière renvoyée et le temps qu'elle prend à revenir au détecteur. [18]

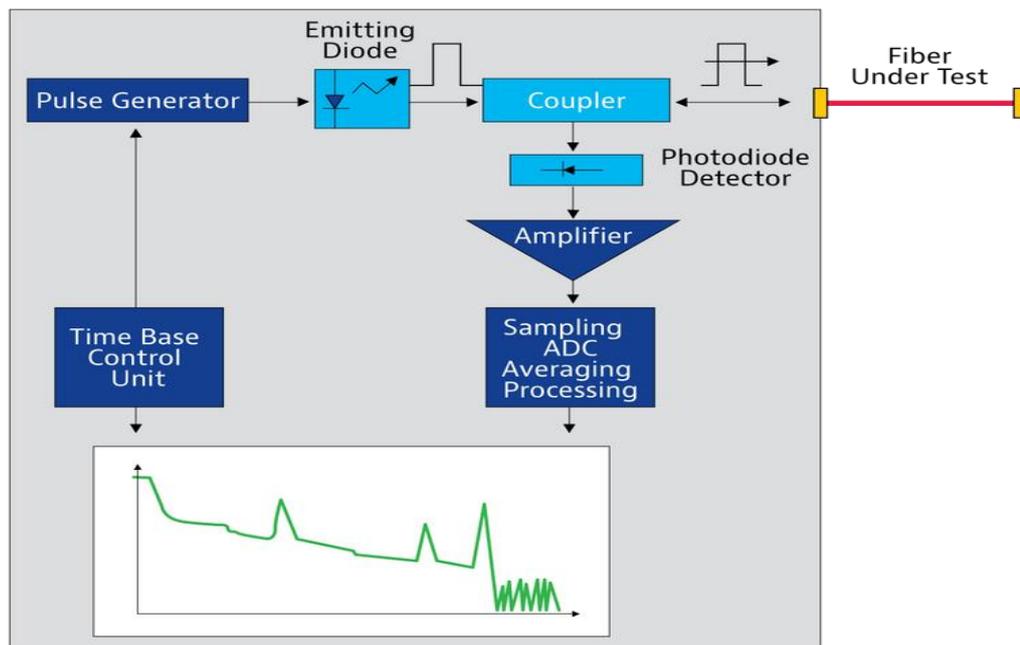


Figure 3-6 : Principe de fonctionnement de Réflectomètre Optique.

3.4.5.3 Utilisation d'un Réflectomètre Optique (OTDR) :

Le Réflectomètre Optique est utilisé pour qualifier la lumière réfléchi sur la fibre en terme de niveau et en distance. Il peut donc déterminer les cassures, les pincements, les raccords dans la fibre optique en analysant les pertes de lumière à partir d'une seule extrémité. [19]

3.4.6 Réseau étendu WAN (Wide Area Network) :

3.4.6.1 Définition :

Un réseau étendu (WAN) est la technologie qui relie vos bureaux, vos centres de données, vos applications Cloud et votre stockage Cloud entre eux. On l'appelle réseau étendu parce

qu'il s'étend au-delà d'un seul bâtiment ou d'un grand campus pour inclure plusieurs sites répartis dans une zone géographique spécifique, voire dans le monde entier. Par exemple, les entreprises possédant de nombreuses succursales internationales utilisent un WAN pour connecter les réseaux de leurs bureaux entre eux. [20]

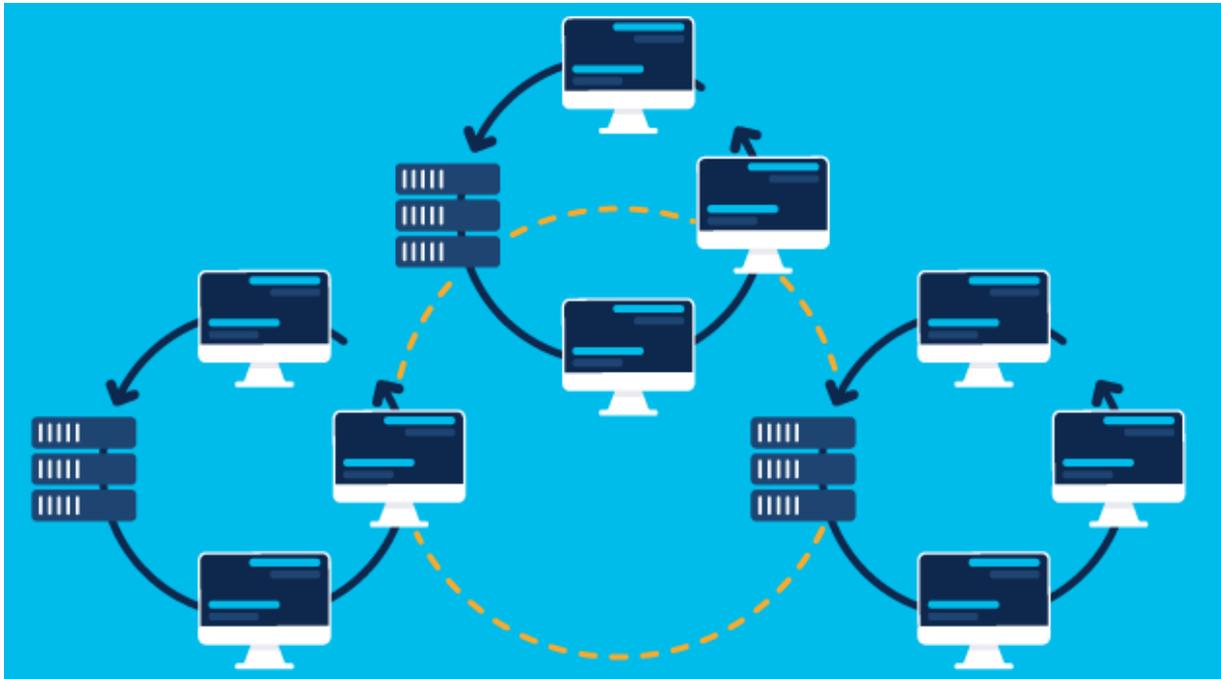


Figure 3-7 : réseaux étendus (WAN).

3.4.6.2 Quel est le but d'une connexion WAN ?

Les réseaux étendus (WAN) constituent aujourd'hui l'épine dorsale des entreprises. Avec la numérisation des ressources, les entreprises utilisent les réseaux étendus pour effectuer les tâches suivantes :

- ✚ Communiquer en utilisant la voix et la vidéo.
- ✚ Partager les ressources entre les employés et les clients.
- ✚ Accéder au stockage de données et sauvegarder-les à distance.
- ✚ Se connecter aux applications fonctionnant dans le Cloud.
- ✚ Exécuter et héberger des applications internes. [20]

3.4.6.3 Les Protocoles des réseaux étendus (WAN) :

3.4.6.3.1 Relais de trame :

La technologie du relais de trame est ancienne qui organise les données en trames et les transmet à un nœud de relais de trame sur une ligne privée. Le relais de trame fonctionne sur les couches 1 et 2 et utilise plusieurs commutateurs et routeurs pour faciliter le transfert d'informations entre les réseaux locaux. [20]

3.4.6.3.2 Mode de transfert asynchrone :

Une des premières technologies WAN à formater les données en cellules de données de 53 octets est le mode de transfert asynchrone (ATM, Asynchronous Transfer Mode). Le multiplexage par répartition dans le temps est une technique utilisée par les dispositifs de réseau ATM pour convertir les signaux numériques contenus dans des cellules de taille fixe, les transmettre, puis les réassembler à leur destination. [20]

3.4.6.3.3 Paquet over SONET/SDH :

Définition : Le protocole de communication Packet over SONET/SDH (POS) explique comment les liaisons point à point fonctionnent avec la fibre optique.

3.4.6.3.4 TCP/IP :

Le protocole de contrôle de transmission/protocole Internet, également appelé protocole de contrôle de transmission/protocole Internet, définit Comment les données doivent être emballées, adressées, transmises, transportées et reçues. IPv6 est la version la plus récente de la méthode la plus courante. [20]

3.4.6.4 Quelle est la différence entre le réseau étendu (WAN) et le réseau local (LAN)?

Les LAN existent dans une zone limitée, tandis que les WAN peuvent exister dans le monde entier sans connexion utilisant un fournisseur de réseau pour un emplacement physique. Les LAN peuvent être utilisés pour accéder à un plus grand WAN (comme Internet), mais seulement dans la zone où l'infrastructure des LAN peut atteindre. [21]

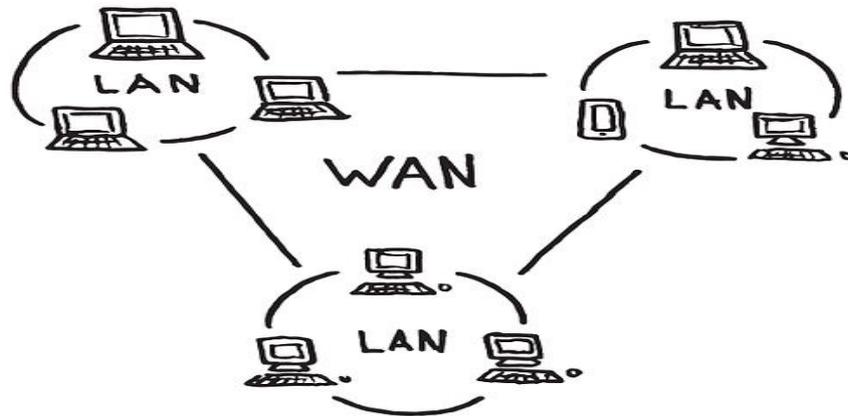


Figure 3-8 : la différence entre le réseau étendu (WAN) et le réseau local (LAN).

3.4.7 Fibre Optique Noire (FON) :

3.4.7.1 Définition :

La fibre noire (ou « Dark Fiber ») désigne une infrastructure à fibres optiques (câbles et répéteurs) installée mais encore inutilisée. La fibre optique transmettant les informations sous la forme d'impulsions lumineuses, le qualificatif « noire » signifie qu'aucune impulsion n'est envoyée.

Un « service de fibre noire », fourni par un opérateur ou par un hébergeur, ne porte que sur la fourniture d'une fibre de bout en bout et sur la maintenance de cette fibre entre les deux sites d'un client. [22]



Figure 3-9 : Fibre Optique Noire.

3.4.7.2 l'intérêt de FON pour les Entreprises :

- ✚ La prolifération des fibres noires a conduit les exploitants à réduire leurs prix au lieu de les conserver inutilisées.
- ✚ Les progrès technologiques ont permis de réduire les coûts des appareils d'éclairage et de multiplexage (division de la lumière en longueurs d'onde)
- ✚ Les acteurs capables de connecter Les nouvelles distances entre les bâtiments/centres de données clients et les fibres noires existantes se sont multipliées, ce qui a également entraîné une baisse des prix de ces "derniers mètres" jusque-là très coûteux. [23]

3.4.7.3 Les Avantages de FON :

De plus, cette technologie donne au client une grande indépendance technologique, lui permettant de modifier ses services sans être limité par les offres packagées des opérateurs et les délais de construction associés.

Enfin, il permet aux entreprises d'éviter les limites de disponibilité qui découlent de la mutualisation des réseaux opérateurs et offre la possibilité de soutenir les tracés et l'adduction des fibres avec des boucles optiques sécurisées à 100 %. [23]

3.4.8 Petit Facteur de forme Enfichable (SFP) :

3.4.8.1 Définition :

Un petit émetteur et un récepteur enfichable à chaud appelé petit facteur de forme enfichable (SFP) est largement utilisé. dans les applications de télécommunication et de communication de données. Les modules SFP peuvent prendre en charge SONET, Gigabit Ethernet, Fibre Channel et d'autres normes de communication. La plupart des émetteurs-récepteurs SFP sont utilisés pour Gigabit Ethernet et sont disponibles dans une grande variété d'émetteurs/récepteurs pour les différentes distances et types de fibre ainsi que la conversion en RJ-45 (cuivre). [24]

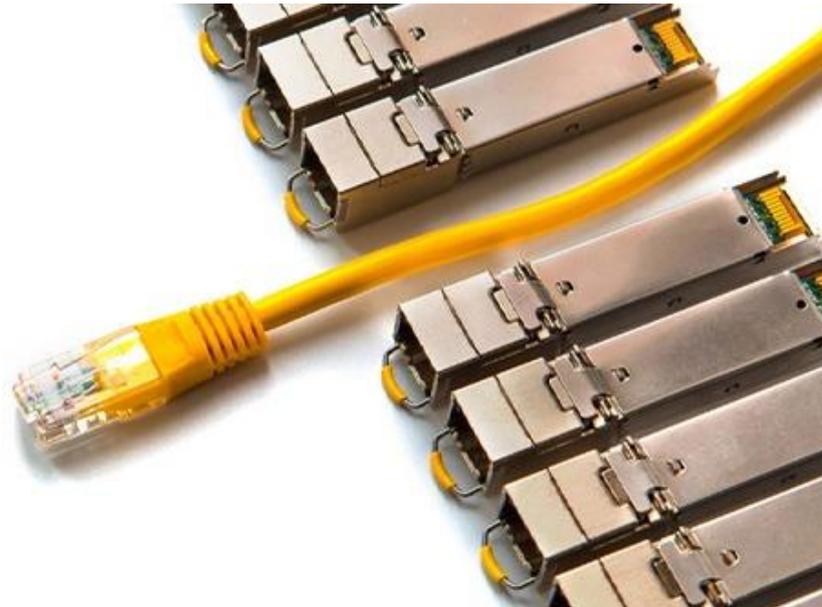


Figure 3-10 : Petit Facteur de forme Enfichable SFP.

3.4.8.2 Différentes Types De SFP :

Xenpak, XFP et les SFP modernes sont différents modèles enfichables dont la quantité de bande passante qu'ils peuvent transmettre varie. [25]



Figure 3-11 : Evolution de Petit Facteur de forme Enfichable SFP.

3.4.8.3 Principe de Fonctionnement :

Un émetteur-récepteur SFP doit être branché sur un port SFP pour fonctionner. Habituellement, le port droit d'un SFP est le récepteur, tandis que le port gauche est l'émetteur. Vous devriez entendre un clic lorsque vous branchez le SFP sur un port. [25]



Figure 3-12 : SFP Port.

3.4.8.4 les Avantages de SFP :

Avant tout, les SFP sont petits, ce qui les rend adaptés aux espaces restreints. Ils sont également remplaçables à chaud, un terme électronique pour les composants qui peuvent être branchés et retirés facilement pendant qu'un ordinateur ou un appareil est en cours d'exécution. Grâce à cette caractéristique, les réseaux peuvent être étendus sans reconcevoir leur infrastructure de câbles.

Enfin, vous pouvez choisir parmi plusieurs options de connexion SFP, rendant le matériel compatible avec presque tous les réseaux. Les SFP sont également compatibles avec différentes normes de communication. [25]

3.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le matériel de télécommunication comme un Equipement très stratégique pour les réseaux électriques HTA/HTB, il contribue à assurer en toute sécurité une meilleure disponibilité et une bonne qualité et continuité de service, pour cela, nous avons bien détaillé leurs principes de fonctionnement et leurs utilités spécifiques ainsi que leurs avantages.

Chapitre 4

**La maintenance industrielle
et ces méthodes d'analyse**

Chapitre 4 : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse

4.1 Introduction :

La Maintenance industrielle Maintenir le bon fonctionnement des appareils, équipements ou machines industriels dans les usines et les laboratoires grâce à un examen et une réparation continus. Une entreprise peut éviter de nombreux problèmes et réduire les pertes de productivité en installant un système de maintenance pour ses équipements de production.

Pourtant, ses enjeux, ses méthodes et les outils à la disposition des professionnels restent pourtant trop souvent méconnus. Au cours des dernières années, ces outils ont beaucoup changé grâce aux avancées technologiques. Des nouvelles solutions de gestionnaires maintenance facilitent maintenant considérablement le travail des équipes de terrain tout en permettant aux décideurs d'améliorer leur organisation et leur prise de décision.

4.2 Généralité sur la maintenance industrielle :

4.2.1 Définitions de la maintenance (norme NF EN 13306) :

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. [26]

4.2.2 Historique :

Les machines industrielles étaient majoritairement imposantes, très robustes et fonctionnaient lentement jusqu'à la Seconde Guerre mondiale. Les temps d'arrêt étaient relativement rares dans un contexte où les exigences de production n'étaient moins aussi fortes qu'actuellement. Par conséquent, la maintenance des équipements industriels n'était effectuée qu'à des moments spécifiques où des machines étaient en panne.

Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, les besoins de reconstruction de l'appareil industriel et des pays en général ont entraîné une augmentation du rythme de production et le marché est devenu très concurrentiel.

La première génération : de la révolution industrielle à 1950.

La deuxième génération : de 1950 à 1970.

Troisième génération : 1980-1990.

Quatrième génération : de 1990 à nos jours.

4.2.3 Fonctions de la maintenance industrielle :

Dans un service maintenance, on trouve généralement les fonctions suivantes :

- méthodes et études (définition des techniques et des moyens à utiliser).
- ordonnancement (rassemblement des moyens, main-d'œuvre et matières, déclenchement des travaux).
- réalisation (contrôle de l'activité du personnel et de la qualité du travail).
- documentation (création, organisation et animation de toute la documentation). [27]

Tableau 4-1 : Schéma de fonction de maintenance.

Les Fonctions de la maintenance	Fonction réalisation
	Fonction méthodes
	Fonction ordonnancement
	Fonction préparation
	Fonction management

4.2.4 La mission de la maintenance industrielle :

Quelles tâches sont effectuées dans la réalité par les professions de la maintenance industrielle?

La fonction de maintenance effectue les missions suivantes :

- Maintenance des équipements industriels.
- facilité de répondre aux problèmes de qualité, et de sécurité ou environnement.
- Travaux neufs pour prendre la décision d'installer un nouvel équipement par exemple.
- Remplacement ou réparation des pièces sur des appareils de production.
- Gestion des stocks : achat d'outillage ou de pièces de rechange.
- Entretien général du parc industriel.

4.2.5 Organisation de la maintenance industrielle :

Au sein de l'industrie, le service de maintenance est en relation constante avec les autres services. Il est important de pouvoir garantir une relation de proximité durable avec ces services. En particulier :

- Pour éviter les problèmes de garantir des équipements, collaborez avec le service achats.
- avec les fonctions financières pour décider si la machine doit être remplacée ou non.
- Pour organiser les postes de travail et protéger les moyens humains et matériels, le service Qualité et Sécurité du travail est responsable.
- Le service informatique est responsable du maintien du système d'information de l'entreprise.
- En utilisant la fonction Normalisation pour enregistrer les nomenclatures des équipements. il faut collaborer avec les responsables de normalisation.

4.2.6 Les Niveaux de la maintenance (norme NF X 60-000 (2016)) :

➔ Les niveaux de maintenance sont classés en 5 niveaux :

Niveaux 1: La maintenance de premier niveau concerne les interventions courantes, nécessaires et effectuées sur des objets facilement accessibles. Ainsi, ces opérations ne nécessitent pas de démontage ou d'ouverture de l'équipement et peuvent être effectuées par l'exploitant lui-même ou par un opérateur non spécialisé.

Peu de pièces de rechange ou de consommables sont utilisés lors de ces interventions. Si les instructions essentielles sont consultables, comme dans une notice explicative ou des instructions visuelles, elles ne présentent pas de risque de sécurité particulier..

Niveaux 2 : Les interventions peu complexes et simples à suivre sont considérées comme faisant partie de la maintenance de deuxième niveau. De plus, lors de ces opérations, le remplacement de pièces ne nécessite pas le démontage complet de l'équipement concerné.

Il est impératif que ces interventions soient effectuées par un technicien qualifié qui a suivi une formation sur la sécurité et les risques. En conséquence, ils sont généralement confiés à un technicien ayant des compétences moyennes.

Niveaux 3 : Ce niveau de maintenance est proportionnel aux interventions complexes. Ainsi, un diagnostic et une identification doivent être effectués avant. Ils peuvent être effectués sur place ou dans un atelier de maintenance et doivent prendre en compte l'équipement dans son ensemble, car la modification d'un élément peut affecter son fonctionnement général.

Les techniciens doivent effectuer des interventions de maintenance de niveau 3. qualifiés avec l'outillage indiqué dans les instructions de maintenance de la machine.

Niveaux 4 : Les opérations de maintenance de niveau 4 sont complexes et importantes qui nécessitent une connaissance technique spécifique.

Ainsi, elles doivent être effectuées par un technicien ou une équipe de techniciens spécialisés ayant une qualification particulière et également supervisées par un responsable spécialisé.

Les ateliers sont utilisés pour effectuer ces interventions. équipés d'outils, de documents et de bancs de mesure appropriés.

Niveaux 5 : La maintenance de niveau 5 regroupe des actions complexes réalisées par le constructeur de l'équipement ou par une société agréée par celui-ci. Les actions à réaliser sont semblables à des actions de fabrication. [28]

Les 5 niveaux de maintenance Afnor

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
<ul style="list-style-type: none"> - Réglages simples - Sur place - Personne non qualifiée peut réaliser l'opération <p><i>Exemple : changement d'un consommable</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Actions peu complexes - Sur place - Nécessite un technicien habilité pour réaliser l'opération <p><i>Exemple : changement d'un relais</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Actions complexes - Sur place ou en atelier - Nécessite un technicien spécialisé <p><i>Exemple : changement d'une pompe</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Actions de grande importance - En atelier spécialisé - Nécessite une équipe avec un responsable spécialisé <p><i>Exemple : réparation spéciale</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Actions complexes - Chez le constructeur - Nécessite l'équipe de construction <p><i>Exemple : reconstruction d'un appareil</i></p>

Figure 4-1 : les 5 Niveaux de maintenance.

4.2.7 Types de maintenance :

La figure suivant (4-2) montre les différents types de maintenance :

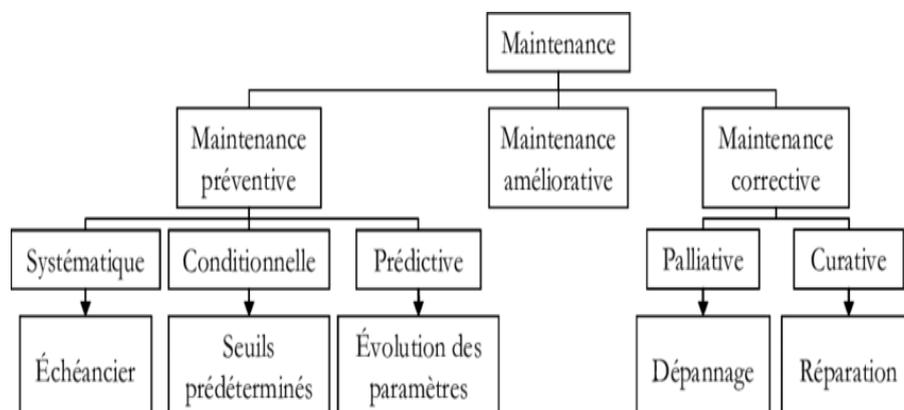


Figure 4-2 : Schéma résumé les différents types de maintenance.

4.2.7.1 La maintenance corrective :

C'est la maintenance effectuée après la détection d'une défaillance et destinée à remettre un bien dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, au moins provisionnement (norme NF EN 13306). C'est donc une maintenance qui remet en état mais que ne prévient pas la casse. Elle réagit à des événements aléatoires, mais cela ne veut pas dire qu'elle n'a pas été pensée. C'est un choix politique de l'entreprise.

4.2.7.1.1 Les différents types de maintenance corrective :

1) Maintenance palliative :

Ensemble des actions de maintenance corrective qui permettent à un bien de réaliser temporairement tout ou une partie des fonctions nécessaires.

La maintenance palliative, également appelée « dépannage », se compose principalement d'actions temporaires qui doivent être suivies d'actions curatives.

2) Maintenance curative :

Les activités de maintenance corrective cherchent à rétablir un bien dans un état donné ou à le permettre d'accomplir les tâches nécessaires. Il est important que les résultats des actions soient permanents.

4.2.7.1.2 Les objectifs de la maintenance corrective :

- Augmenter la disponibilité du bien et sa durée de vie.
- Assurez-vous que les employés sont en sécurité et bien-être.
- Augmentation de la qualité des biens.
- La Protection de l'environnement.

4.2.7.1.3 Les opérations de la maintenance corrective :

Après une défaillance, le maintenancier doit effectuer plusieurs opérations, dont les définitions sont fournies ci-dessous. Ces tâches sont effectuées par étapes :

- **Test** : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- **Détection** : ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- **Localisation** : ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par les quels la défaillance se manifeste.

- **Diagnostic** : ou identification et analyse des causes de la défaillance.
 - **Dépannage**, réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
 - **Contrôle** : du bon fonctionnement après intervention.
 - **Amélioration éventuelle** : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
 - **Historique** : ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.
- [29]

4.2.7.2 Maintenance préventive (norme NF EN 13306) :

La maintenance préventive est une maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'un bien, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs) et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité ou la dégradation du fonctionnement du bien. [30]

4.2.7.2.1 Les différents types de maintenance préventive :

1) Maintenance préventive systématique :

La maintenance préventive systématique est une forme de maintenance dont « les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage » et aussi « les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leurs états de dégradation, et ce de façon périodique ». [29]

2) Maintenance préventive conditionnelle :

La maintenance conditionnelle se définit par : « les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service ».

Donc il n'y a plus d'échéancier mais plutôt un événement, une condition, le franchissement d'un seuil, qui provoque l'intervention. Le signal peut être donné par un capteur décelant une dérive de comportement (élévation de température, modification du niveau vibratoire, fuite usure, etc. [29]

4.2.7.2.2 Les objectifs de la maintenance préventive :

- **Améliorer la fiabilité du matériel :**

Pour mettre en place la maintenance préventive, il est nécessaire de mener des analyses techniques sur le comportement du matériel. Cela permet à la fois une maintenance préventive efficace et l'élimination complète de toutes les défaillances.

➤ **Améliorer la gestion des stocks :**

La planification de la maintenance préventive est possible. Elle facilite la gestion et l'optimisation des stocks car elle nous aide à maîtriser le bien établissement des échéances de remplacement des organes or pièces.

➤ **Garantir la qualité des produits :**

La surveillance quotidienne est nécessaire pour identifier les signes de défaillance et s'assurer que les paramètres de la machine sont correctement ajustés et que la machine fonctionne dans le régime nominal.

4.2.7.2.3 Opérations de maintenance préventive :

Ces opérations trouvent leur définition dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306).

1. **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).

2. **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance de Premier et deuxième niveau ; il peut également déboucher sur de la maintenance corrective

3. **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.

4. **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des Intervalles prescrits de temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision Demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être Confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4. [31]

4.2.7.3 Maintenance améliorative :

L'amélioration des biens d'équipements est un ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise (norme NF EN 13306). Par conséquent, la conception originale est modifiée afin de prolonger la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, aussi améliorer la maintenabilité et beaucoup des objectifs nécessaires dans l'industrie.

4.3 Les différentes méthodes d'analyse utilisées en maintenance :

4.3.1 Méthode ABC (Diagramme de Pareto) :

4.3.1.1 Définition :

La méthode ABC (Activity Based Costing) est une méthode consistant à classer un référentiel par ordre décroissant des sorties. On se base sur l'idée communément admise qu'environ 20% des références représentent 80% des ventes. Lors d'une analyse il est donc primordial de s'attaquer en priorité à ces références. La méthode ABC permet de faire une analyse plus fine que le simple calcul du coût de revient.

4.3.1.2 Objective de méthode ABC :

L'objectif de la méthode ABC est de modéliser les charges par activité pour mieux les gérer. Elle permet d'analyser quelle est l'activité la plus rentable et celle la moins rentable. L'objectif est donc d'identifier les facteurs de coûts réels et les potentielles économies dans le but d'améliorer la rentabilité des produits et des clients. [32]

4.3.1.3 gestion et comptabilité de méthode ABC :

La méthode ABC suit le principe suivant : On divise le référentiel en trois groupes ou zones :

- **le groupe A** 20% des pannes occasionnent 80% des coûts.
- **le groupe B** 30% des pannes occasionnent 15% des coûts.
- **le groupe C** 50% des pannes occasionnent 5% des coûts global.

La méthode ABC permet de connaître les références qui méritent une attention particulière. [31]

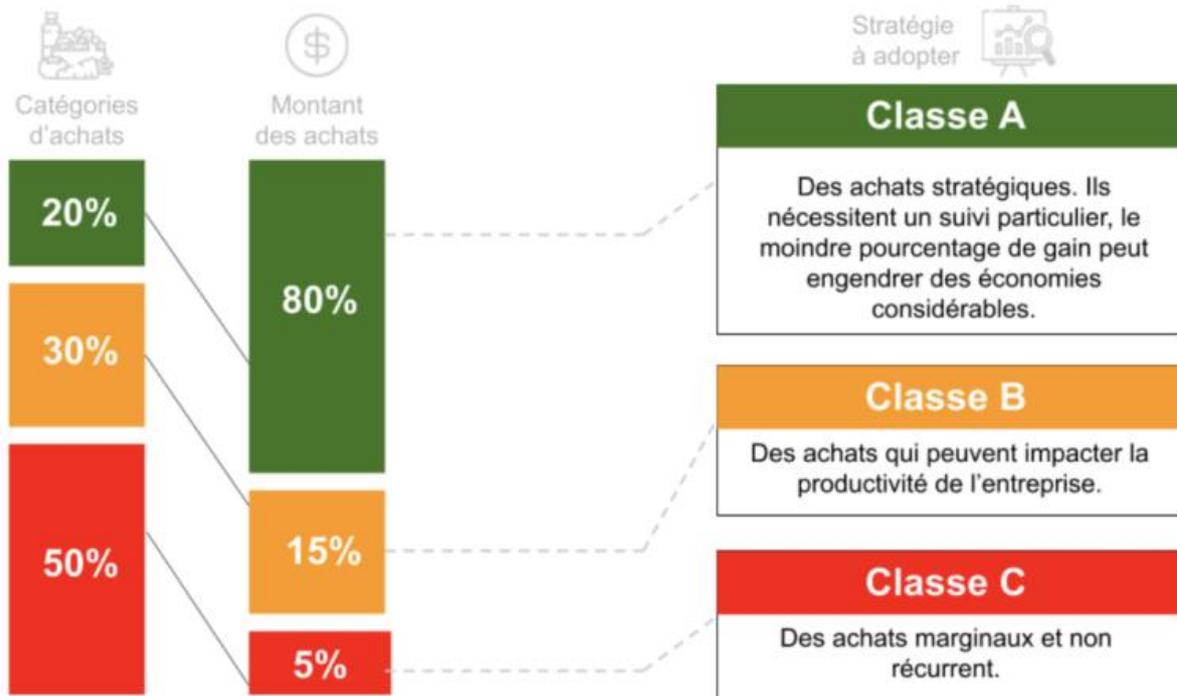


Figure 4-3 : Classement de méthode ABC. [33]

4.3.1.4 Méthodologie de la méthode ABC :

Nous décrirons dans cette section les différentes étapes à réaliser pour appliquer la méthode ABC :

- ✓ Définir les éléments à analyser.
- ✓ Définir un critère d'appréciation en fonction de l'objectif qui nous intéresse.
- ✓ Choisir une unité de mesure.
- ✓ Choisir une période de mesure.
- ✓ Tracer un tableau pour faciliter l'accès à toutes les mesures.
- ✓ Classer les temps d'arrêt on ordre décroissant selon leur valeur.
- ✓ Calculer les cumuls des valeurs des temps d'arrêt en pourcentage.
- ✓ Calculer le cumul des fréquences des pannes en pourcentage.
- ✓ Classer les produits selon leurs importances.
- ✓ Tracer la courbe ABC.
- ✓ Dédire les trois zones A, B et C.
- ✓ Analyser et interpréter la courbe avant de prendre les décisions adéquates. [34]

4.3.2 La méthode QQQQCP :

4.3.2.1 Définition :

La méthode QQQQCP permet d'analyser minutieusement la situation. De manière constructive, en utilisant un questionnement systématique afin de tourner le problème dans tous les sens, de le décomposer dans toutes ses facettes, de déplacer l'attention et d'ouvrir la perspective sur les solutions possibles.

- Q - **Quoi** : objet, action, phase, opération.
- Q - **Qui** : parties prenantes, acteurs, responsables.
- O - **Où** : lieu, distance, étape.
- Q - **Quand** : moment, planning, durée, fréquence.
- C - **Comment** : matériel, équipement, moyens nécessaires, manières, modalités, procédures.
- P - **Pourquoi** : motivations, motifs, raisons d'être, etc. [35]

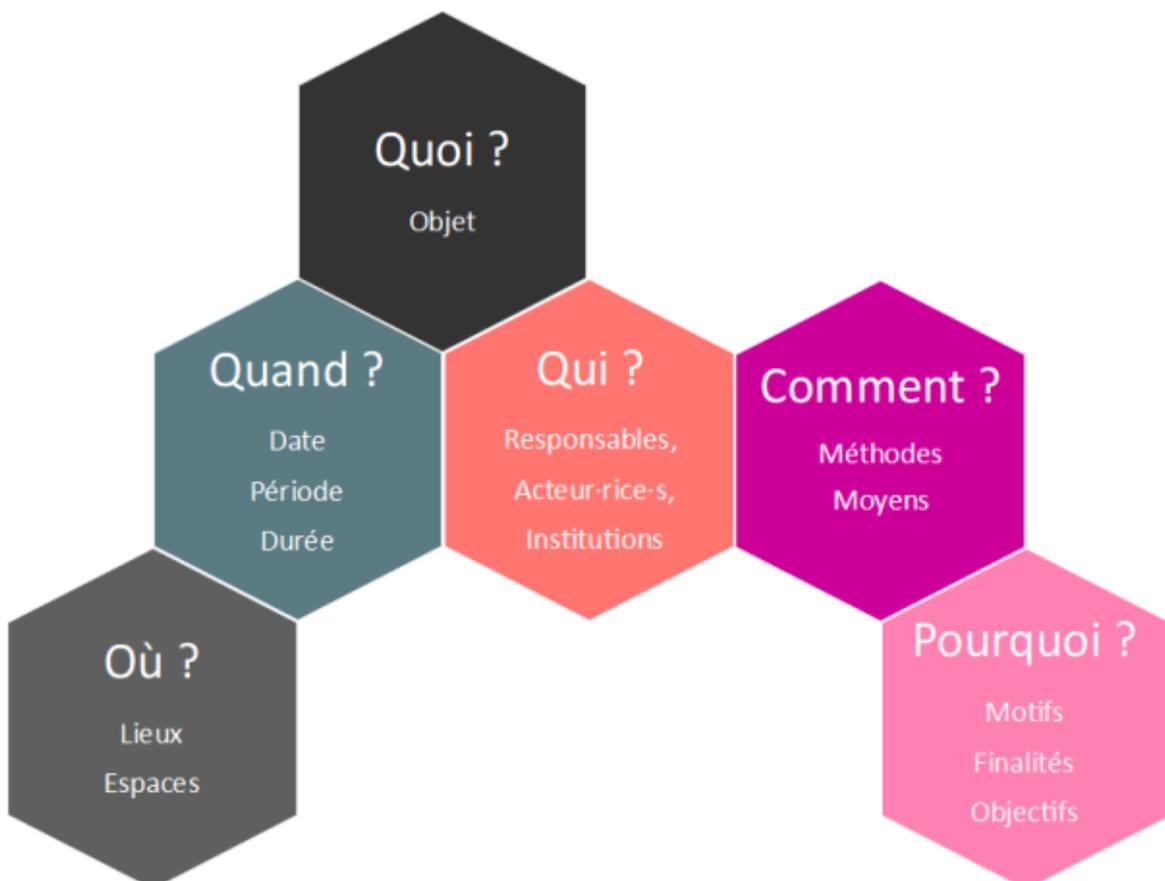


Figure 4-4 : Méthode QQQQCP.

4.3.2.2 Les objectifs de la méthode :

La méthode QQQQCP vise à obtenir des informations élémentaires suffisantes sur toutes les dimensions de la situation ou du problème pour identifier tous ses aspects ou circonstances : la personne, le fait, l'endroit, le temps, la façon et les motifs. [36]

4.3.2.3 Principe de la méthode :

Elle adopte une approche d'analyse critique qui implique de poser le plus de questions possibles au tour d'un problème ou d'une situation afin de comprendre quelles sont ses causes principales. Elle implique de poser des questions de manière systématique pour s'assurer qu'aucune information connue ne sera oubliée.

Il s'agit de répondre à la question suivante :

« Qui a fait quoi, où, quand, comment et pourquoi ? »

→ La question Quoi ?

Cette question est posée pour une meilleure description de l'activité ou du problème de la tâche.

→ La question Quand ?

Cette question est posée afin de définir correctement les temps.

→ La question Où ?

Ce problème est lié à la description des lieux.

→ La question Qui ?

Cette question permet une description plus précise des exécutants acteurs ou des personnes impliquées.

→ La question Comment ?

Pour une description plus précise de la méthode.

→ La question Pourquoi ?

Il est possible de poser cette question, mais toutes les autres questions doivent également être posées :

Quoi ? Qui ? Ou ? Quand ? Comment ?

Pour mener une analyse critique, à chaque réponse des questions précédentes se demander Pourquoi ? [36]

Tableau 4-2 : résumé de la méthode QQQQCP. [37]

Lettre	Question	Sous-question	Exemples
Q	Quoi ?	C'est quoi le problème ? De quoi s'agit-il ? En relation avec quoi ?	Vibration, fuite externe, ...
Q	Qui ?	De qui ? Pour le compte de qui ? Avec qui ? Qui est concerné ?	Personne, responsable, service, chaîne, acteur, ...
O	Où ?	Où se situe le problème ? Par où ? Venant d'où ?	Lieu, étape, stade, ...
Q	Quand ?	À partir de quand ? Jusqu'à quand ?	Périodicité, délai, date, durée, ...
C	Comment ?	Comment c'est arrivé ? Comment le faire ?	Procédure, moyen, manière, méthodes, technique, ...
P	Pourquoi ?	Pourquoi le faire ? Pourquoi lui ?	Cause, raison d'être, objectif, ...

4.3.2.4 Les avantages de la méthode QQQQCP :

La force de la méthode QQQQCP réside dans ses 4 caractéristiques :

- Simple : nul besoin de formation ni de personnes qualifiées dans la méthode pour mener à bien ces questionnements.
- Systématique : c'est la clé du succès de poser systématiquement toutes les questions à chaque fois.
- Polyvalente : elle peut être utilisée aussi bien pour élaborer un nouveau processus que mettre en place une action corrective.
- Exhaustive : la méthode permet d'obtenir une vision à 360° de la problématique et de percevoir les pistes de résolution. [38]

4.3.3 Méthode AMDEC :

4.3.3.1 Définition :

La méthode AMDEC « Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité » (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA). Cette technique a pour but d'étudier, d'identifier, de prévenir ou au moins de réduire les risques de défaillance d'un système, d'un processus, d'un produit.

L'association Française de normalisation (Afnor) définit l'AMDEC comme étant « une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système ». La méthode implique un examen méthodique des défaillances potentielles des systèmes (analyse des modes de défaillance), leurs origines et leurs effets sur le fonctionnement global (Les effets). Suite à une hiérarchisation des défaillances potentielles basées sur une estimation du risque de défaillance, soit la criticité est déclenchée et suivie d'actions prioritaires. [39]

4.3.3.2 Application de l'AMDEC :

L'utilisation de l'AMDEC dans une entreprise entraîne :

- le bon produit dès le début grâce à une production optimisée.
- une amélioration continue des procédures de production pour réduire les défauts.
- L'organisation se développe constamment.
- la détermination d'un objectif de qualité et des méthodes pour atteindre cet objectif.
- Examiner chaque défaut de production.
- Rédiger des suggestions en cas de panne. [40]

4.3.3.3 Les différents types d'AMDEC :

L'AMDEC peut s'appliquer à tous les systèmes qui risquent de ne pas satisfaire aux exigences en matière de fiabilité, de maintenabilité et de qualité du produit fabriqué et/ou de sécurité.

On différencie plusieurs types d'AMDEC :

- **L'AMDEC PRODUIT** : Elle est utilisée pour garantir la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception.
- **L'AMDEC PROCESSUS** : Assure la qualité d'un produit en innovant les procédures de production de celui-ci.
- **L'AMDEC MOYEN DE PRODUCTION** : La disponibilité et la sécurité de la production sont assurées en amenant la maintenance de production.

Types d'AMDEC	Rôle	Document de travail associé
AMDEC Fonctionnelle	Analyse des défaillances et de ses causes à l'étape de la conception.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de construction • Brevet
AMDEC Produit	Analyse les demandes des clients en termes de fiabilité.	Plan de fiabilisation
AMDEC Process	Analyse des risques liés aux défaillances d'un produit.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de surveillance • Contrôle qualité
AMDEC Moyen de Production	Analyse les risques liés aux défaillances de la chaîne de production.	Guide de maintenance
AMDEC Flux	Analyses les risques liés à l'approvisionnement, le temps de réaction et de correction et leurs coûts.	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de gestion des stocks • Procédure de sécurité

Figure 4-5 : Les Types de l'AMDEC. [40]

4.3.3.4 Objectif de la méthode l'AMDEC :

L'AMDEC est un outil de travail de groupe destiné à :

- ✓ Procéder à un examen critique de la conception.
- ✓ Identifier les défaillances simples qui pourraient avoir des effets ou des conséquences graves ou inacceptables.
- ✓ préciser, pour chaque mode de défaillance, les moyens de détection et les actions correctives à mettre en œuvre.
- ✓ valider une conception ou identifier les points de conception devant faire l'objet de modifications ou d'améliorations.
- ✓ dans ce dernier cas, déterminer s'il est préférable de chercher à diminuer la probabilité d'apparition des modes de défaillance ou de chercher à diminuer la gravité des effets des défaillances.
- ✓ vérifier si la conception est conforme aux exigences de sûreté de fonctionnement du client (interne ou externe). [41]

4.3.3.5 Les étapes d'application :

Pour implémenter la méthode AMDEC, il faut suivre 5 étapes :

1) Constituer un groupe de travail :

Ce groupe, est composé de 4 à 8 individus issus de divers services de l'entreprise :

- service production.
- service maintenance.
- service qualité.
- service méthodes.

2) Faire une analyse fonctionnelle du procédé :

Le système dont on étudie les défaillances doit d'abord être "décortiqué" :

- *A quoi sert-il ? : chaque fonction répond à cette question : Ex : un avion vole*
- *Quelles fonctions doit-il remplir ?*
- *Comment fonctionne-t-il ?*

3) Faire l'analyse des défaillances potentielles :

Cette analyse se fait sur deux plans :

- *L'analyse qualitative.*
- *L'analyse quantitative.*

4) Évaluer ces défaillances et déterminer leur criticité :

La criticité est le résultat d'une combinaison de trois éléments :

- la gravité de la défaillance et de l'effet .
- la fréquence d'apparition de la défaillance .
- la probabilité de non-détection .

$$(C= F*D*G)$$

5) Définir et planifier des actions :

Les actions, pour être efficaces, doivent faire l'objet d'un suivi :

- *plan d'action.*
- *désignation d'un responsable de l'action.*

- *détermination d'un délai.*
- *détermination d'un budget.*
- *révision de l'évaluation après mise en place de l'action et retours des résultats.* [42]



Figure 4-6 : processus de l'AMDEC.

4.3.4 Diagramme cause-effets (méthode d'Ishikawa, 5M ou en arête de poisson) :

4.3.4.1 Définition :

Cet outil a été créé par Ishikawa, professeur à l'Université de 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. [43]

4.3.4.2 Pourquoi On Utiliser le diagramme d'Ishikawa ?

Le diagramme d'Ishikawa est principalement utilisé pour identifier l'ensemble des facteurs qui ont un impact, plus ou moins directe sur un problème observé. Par exemple, lorsqu'une entreprise rencontre une baisse de ses ventes, Il est logique de se demander pourquoi cela se produit. C'est pour répondre à ce type de question que l'utilisation de cet outil s'avère pertinente.

4.3.4.3 Diagramme D'Ishikawa :

Selon Ishikawa, les causes du problème principal peuvent relever de 5 typologies distinctes :

- **La main d'œuvre** : qui a trait à l'équipe, aux collaborateurs, aux compétences et aux savoir-faire.
- **Les matières** : c'est-à-dire les matières premières nécessaires à la production et leur niveau de qualité.
- **Le matériel** : désigne les équipements et moyens requis pour pouvoir produire.
- **La méthode** : fait référence à l'organisation du travail, aux procès et aux techniques de production.
- **Le milieu** : concerne l'environnement de travail (lieu, conditions de travail). Si on considère le milieu dans une dimension plus globale, on peut également y intégrer le marché, le secteur d'activité, la concurrence.

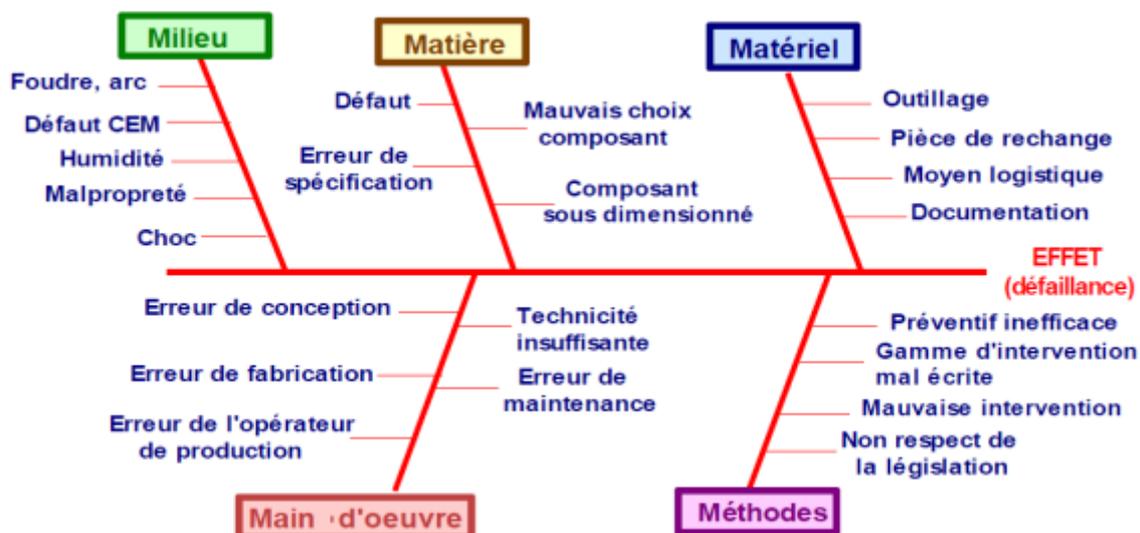


Figure 4-7 : Diagramme d'Ishikawa.

4.3.4.4 Les avantages de diagramme cause-effets :

- Un diagramme causes-effet est très utile pour : ordonner les idées émises lors d'un brainstorming.
- Expliquer un phénomène, un processus de fabrication.
- Guider une discussion dont il est le point central.
- Rechercher rapidement l'ensemble des causes, choisir celles qui sont les plus importantes et mener rapidement les actions correctives correspondantes (dépannage, contre-mesures).
- Former le personnel en utilisant les diagrammes existants. [44]

4.3.5 La méthode de l'arbre de défaillance :

4.3.5.1 Définition :

L'AdD est une méthode d'analyse déductive utilisant un modèle graphique structuré d'arbre pour représenter des événements qui entraînent une défaillance du système spécifique. Il fonctionne en prenant en compte un événement indésirable, tel qu'une défaillance du système, et en le positionnant au sommet de l'arbre. Cela est connu sous le nom d'événement (top) ou (d'événement indésirable). L'AdD utilise alors les combinaisons logiques des événements de défaillance de base pour identifier les facteurs qui ont contribué à l'événement supérieur. [45]

4.3.5.2 Objectives de l'arbre de défaillance :

L'objectif de l'AdD est de collecter des données pour aider à la prise de décision. est utile de fournir une brève description de quelques-unes des façons d'ajouter le fait. L'AdD est un outil polyvalent et les informations qu'il recueille peuvent être utilisées pour un large éventail de tâches.

L'analyse des arbres de défaillance a des objectives dans la prise de décision, énumérés ci-dessous :

- Comprendre la logique qui mène à l'événement supérieur.
- Empêcher l'événement le plus important car il s'agit d'un outil pro-actif.
- Suivre les performances du système.
- Minimiser et optimiser les ressources de danger.
- Aider à la conception du système. [46]

4.3.5.3 Liens entre les évènements : portes logiques

Les portes logiques (figure 4-4) permettent de représenter la combinaison logique des évènements intermédiaires qui sont à l'origine de l'évènement décomposé

- ✓ **Porte ET** : L'évènement E1 ne se produit que si les évènements élémentaires, A1, A2 et A3 existent simultanément.
- ✓ **Porte OU** : L'évènement E1 se produit de manière indépendante si l'un ou l'autre des évènements élémentaires A1, A2 ou A3 existe.
- ✓ **Porte R/N** : Si $R=2$ et $N=3$ alors il suffit que deux des évènements élémentaires A1, A2, A3 soient présents pour que l'évènement E1 se réalise. [47]

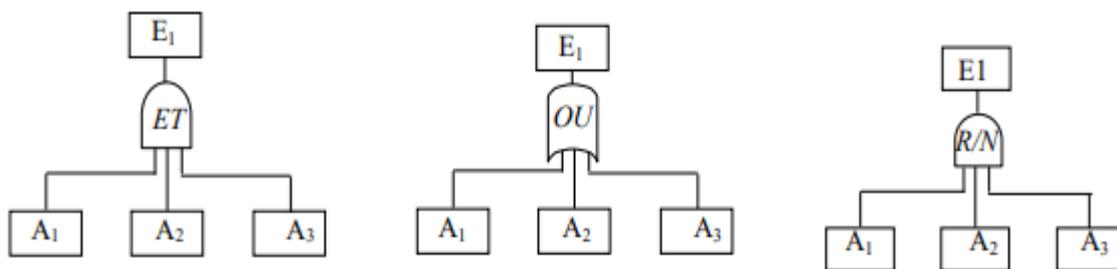


Figure 4-8 : Portes ET, OU, R/N.

4.3.5.4 Construction de l'arbre de défaillance :

Cette construction est détaillée dans plusieurs normes industrielles dont la norme CEI 61025.

1. Evènement sommet (évènement indésirable) :

La première étape réside dans la définition de l'évènement à étudier d'une façon explicite et précise, cet évènement est appelé sommet, ou un autre évènement craint. Cette étape est très importante pour la valeur des résultats de l'analyse. L'arbre de défaillance se veut être une représentation synthétique ; le libellé de l'évènement devra être bref mais aussi évocateur que possible dans la boîte qui le représente dans l'arbre, on lui associant un texte complémentaire apportant toutes les précisions utiles sur la définition de l'évènement.

Cette remarque est aussi valable pour tous les éléments qui vont figurer dans l'arbre.

2. Evènement intermédiaires :

Après avoir défini l'évènement culminant, La combinaison doit être décrite et conduit à cet culminant. Les événements intermédiaires sont moins répandus. Une fois un évènement définis, Ils seront connectés au sommet via un connecteur. D'autres évènements intermédiaires plus approfondis sont capables de redéfinir ces événements intermédiaires.

3. Evènements de base, transfert et conditions :

Les événements non développés peuvent être pris en compte lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'informations pour les décomposer davantage ou qu'il n'est pas utile de développer plus, Il est pratique lors de la construction de gros arbres de défaillance d'utiliser des portes de transfert, ce qui rend la lecture et la validation de l'arbre plus aisée. Ces portes indiquent que la suite de l'arbre est développée sur une page différente. L'arbre contient les événements les plus fins et ne peuvent pas être détaillés davantage car Ils sont impliqués les défaillances d'un élément du système (électrique, mécanique, logiciel...).

4. Connecteurs logiques :

Les connecteurs logiques, également appelés portes logiques, relient les différentes branches et/ou évènements. Les plus traditionnels sont ET et OU.

Les connecteurs fonctionnent comme suit :

OU : si au moins une des circonstances d'entrée ou d'inférieur survient ou est présent, l'évènement d'entrée ou d'inférieur survient.

ET : la circonstance en sortie/supérieur survient seulement si tous les évènements en entrée/inférieur surviennent/ sont disponibles.

R/N : Si au moins R (C'est un entier qui permet de régler la façon dont la porte fonctionne) se produit, c'est un vote majoritaire. parmi les N évènements en entrée/inférieur surviennent/sont présents. Cette porte étend les deux extrémité : une porte OU est une porte 1/N et une porte ET est une porte N/N. [47]

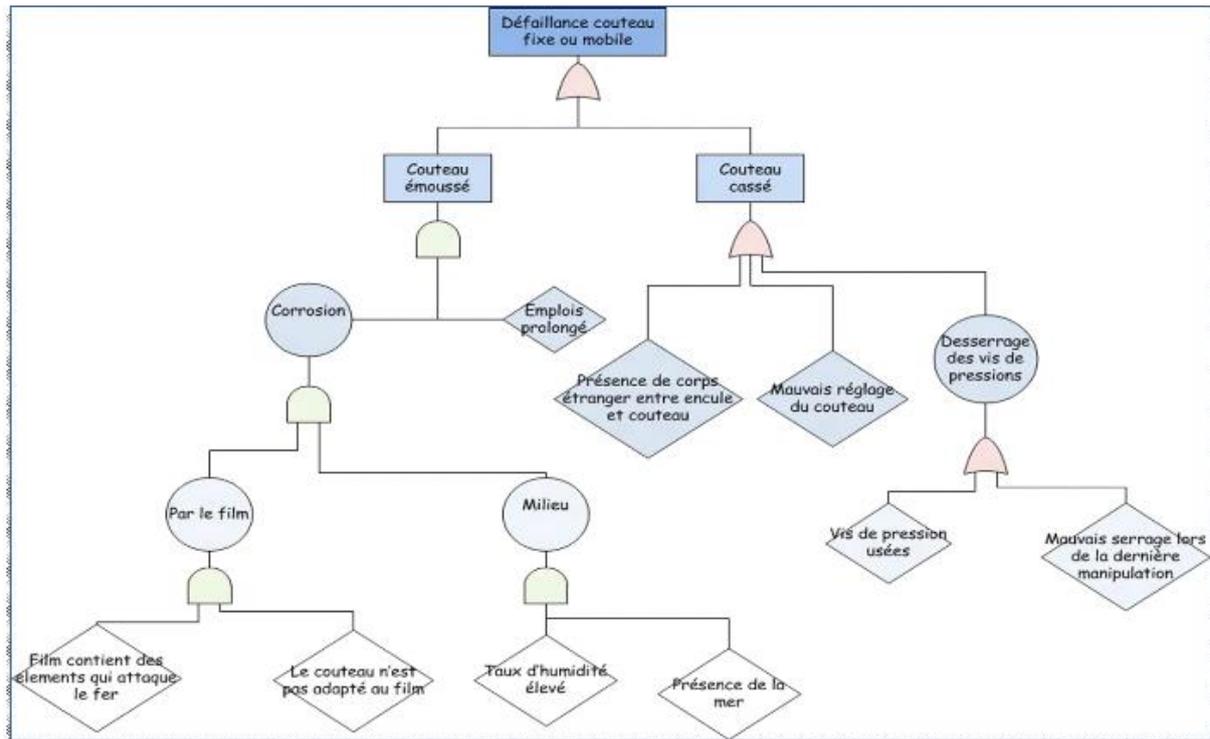


Figure 4-9 : Exemple d'un arbre de défaillance.

4.3.6 Etude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) :

4.3.6.1 Fiabilité :

4.3.6.1.1 Définition :

La fiabilité (norme NF X 06-501) 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.

4.3.6.1.2 Intérêt de l'étude de la fiabilité :

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable) ou son temps de bon fonctionnement (dans le cas d'un système réparable). La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. [48]

4.3.6.1.3 Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF) :

4.3.6.1.3.1 Taux de défaillance (λ) :

Le taux de défaillance λ caractérise la vitesse à laquelle la fiabilité varie au fil du temps. La durée de fonctionnement optimale est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{duree total de bon fonctionnement}}$$

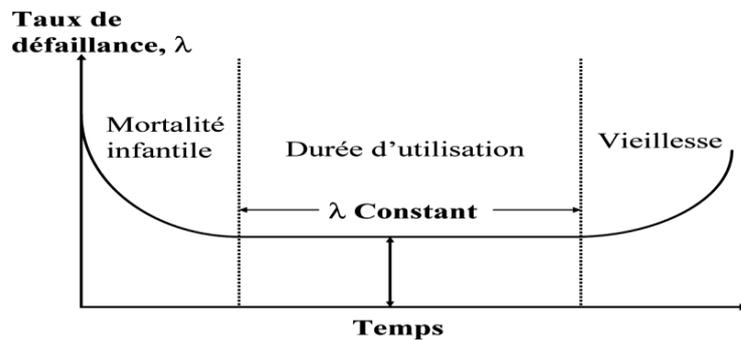


Figure 4-10 : Évolution du taux de défaillance au cours du temps.

4.3.6.1.3.2 Temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) :

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances.

En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t)$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$\text{MTBF} = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les (n) défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

Si λ est constant :

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

4.3.6.1.4 Les lois usuelles utilisées dans le calcul de la fiabilité (discrète et continue) :

Dans cette partie on présente les principales lois de probabilité utilisées fréquemment pour le calcul de la fiabilité d'un système. [49]

1) Loi BINOMIALE :

Soit une défaillance D avec sa probabilité de survenir P, la probabilité d'apparaître k défaillances en N essais est :

$$P(x=k) = C_N^k P^k (1 - P)^{N-k}$$

2) Loi de POISSON :

La probabilité qu'une panne survienne n fois dans le temps t est donnée par :

$$P(n,t) = \frac{e^{-\lambda t}}{n!} (\lambda t)^n$$

3) Loi EXPONENTIELLE :

On applique la loi exponentielle lors le composant a un taux de défaillance constant.

La fonction de fiabilité est : $R(t) = e^{-\lambda t}$

La probabilité de défaillance est : $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

4) Loi NORMALE :

Cette loi est utilisée pour représenter la distribution des durées de vie des dispositifs en fin de vie (usure) ou le taux de défaillance est croissant.

La fonction de fiabilité est :

$$R(t) = 1 - \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt$$

5) Loi de WEIBULL :

C'est un modèle particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances, Weibull a donné le taux d'avarie $\lambda(t)$ une formule générale dépendant de trois paramètres : η , β et γ , la densité de probabilité pour la distribution de Weibull est :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

La fonction de répartition F (t) : $Fe(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

La fonction de fiabilité R (t) : $R(t) = 1-F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

Le taux de défaillance $\lambda(t)$: $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

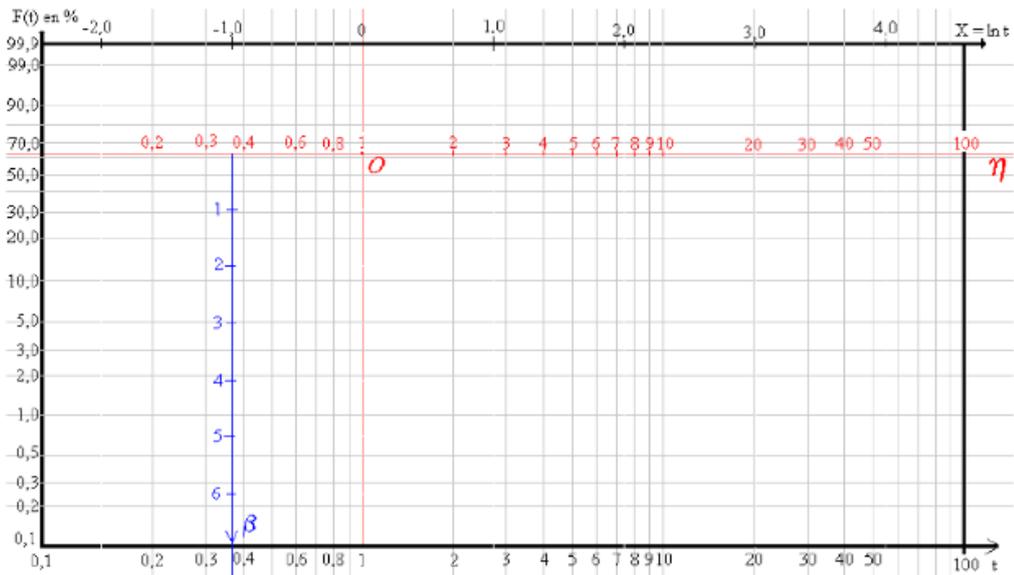


Figure 4-11 : Repaire du papier de Weibull. [50]

Significations des paramètres (β, η, γ) :**1) Paramètre de forme β :**

Le paramètre β fournit des indications à la fois qualitatives et quantitatives du taux de défaillance instantané. Il est dit indicateur de la forme de la courbe de densité de probabilité.

- ✓ $\beta < 1$: phase de jeunesse avec défaillances (généralement des défauts de fabrication ou de montage), le taux de défaillances est décroissant.
- ✓ Si $\beta = 1$, c'est le signe d'un comportement régulier du système avec un taux de défaillance sensiblement constant. C'est donc la période de maturité.
- ✓ $\beta > 1$ phase de vieillesse avec apparition d'un mode de défaillance prédominant caractérisé par β . Le taux de défaillance est croissant.

2) Paramètre d'échelle η :

Contrôle l'étirement de la distribution sur l'axe des temps. Il correspond à MTBF si $\beta=1$ et $\gamma=0$.

3) Paramètre de localisation γ :

Également nommé paramètre de décalage ou de position, il s'exprime en unité de temps. Il indique une période sans défaillance possible ou la date de l'apparition de défaillance. [51]

4.3.6.2 Maintenabilité :**4.3.6.2.1 Définition :**

La maintenabilité est la capacité d'un équipement à être dépanné ou réparé, dans un temps donné, à moindre coût et selon des conditions spécifiées. Il doit aussi retrouver sa fiabilité initiale. [52]

Et avec une autre définition :

Selon la norme AFNOR X60-010 « Dans les 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 les procédures et les moyens prescrits ».

Maintenabilité = Rapidité du dépannage et réparation

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

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arrêts}}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

4.3.6.2.2 Les types de Maintenabilité :

- **La Maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- **La Maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- **La Maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

La MTTR et les lois probabilistes de maintenabilité peuvent être estimées à l'aide d'un diagnostic de la maintenabilité sur des motifs identiques à la fiabilité. [51]

4.3.6.2.3 Taux de réparation μ :

La probabilité qu'un composant soit réparé dépend principalement du temps passé depuis l'instant de la défaillance. Il y a une période de temps spécifique avant la réparation du composant. Ce temps comprend le temps nécessaire pour la détection et le temps de l'équipe de réparation arrivent en position. [51]

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$

4.3.6.2.4 La fonction de maintenabilité :

Dans le cas où le taux de réparation est constant la fonction de maintenabilité est :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

4.3.6.3 Disponibilité :

4.3.6.3.1 Définition :

Selon la norme (NFX 60 500) « Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs soit assurée ».

La disponibilité Joue un rôle important dans la cadre de conception maintenance.

4.3.6.3.2 Types de disponibilité :

✚ **Disponibilité intrinsèque** : La disponibilité est évaluée en utilisant les moyennes de bon fonctionnement et de réparation, ce qui donne :

$$D(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

✚ **Disponibilité instantanée** : La disponibilité instantanée pour un système qui prévoit un taux de défaillance λ et d'un taux de réparation constants μ est: [53]

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

4.3.6.3.3 Les relations entre FMD :

$$MTBF = MUT + MTTR$$

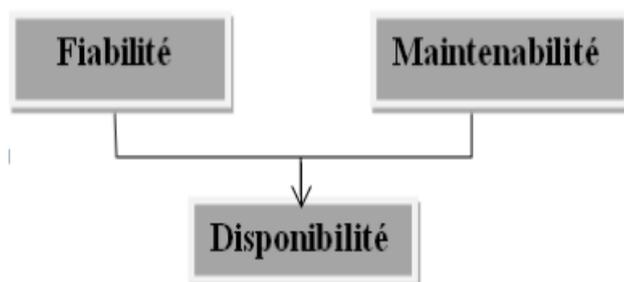


Figure 4-12 : Relations FMD.

4.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la définition de la maintenance, les différents types de maintenance industrielle en détail et nous avons aussi présenté les différentes méthodes qui nous permettent d'analyser tous les défauts des systèmes électromécaniques. Dans le domaine maintenance il est nécessaire d'utiliser plusieurs méthodes pour bien identifier les anomalies et les défaillances, leurs causes et leurs effets.

Les méthodes présentées dans ce chapitre sont la méthode de Pareto (courbe ABC), la méthode AMDEC, la méthode ISHIKAWA (5M), la méthode QOOQCP, la méthode de l'arbre de défaillance ainsi que la méthode FMD.

Chapitre 5

**Application des outils
d'analyse sur les données de
l'entreprise**

Chapitre 5 Application des outils d'analyse sur les données de l'entreprise

5.1 Introduction :

Afin d'analyser les dysfonctionnements de tous les Equipements de télécommunications Par les différentes méthodes d'analyse quantitatives ou qualitatives, il faut obligatoirement étudier l'historique des anomalies et pannes de ces Equipements qui représentent une grande valeur pour l'entreprise.

Après notre stage pratique que nous avons fait au Ghardaïa Exactement dans l'entreprise STE SONELGAZ - Transport de l'électricité, nous avons rédigé dans cette partie les détails et les résultats de notre étude pour l'optimisation de la maintenance préventive du matériel de télécommunication d'un réseau électrique HTB.

5.2 Historique des Pannes :

Tableau 5-1 : Historique des pannes.

N°	Désignation de l'anomalie	date de signalisation	Date de la levée	Temps d'arrêt (h)
1	jarretière optique liaison SDH HRM1 Défaillante.	07/01/2021	09/01/2021	46
2	Alarme ne s'arrête pas au poste Guerrara1.	15/03/2021	17/03/2021	24
3	Alarme ne s'arrête pas suite défaut Fibre Optique.	15/04/2021	17/04/2021	31
4	Apparition défaut équipement commutateur LAN 220kV (SWITCH BR 20) Travée 220kV ATR N°1.	14/05/2021	15/05/2021	18
5	Perte de communication Travée 220KV TILGHEMT au niveau du CCN HRM1.	04/07/2021	04/08/2021	42
6	Inaccessibilité Arrivée TRS N°2 au poste OUERGLA.	29/09/2021	01/10/2021	37
7	Perte de communication entre la REL670 et D60 constatée à la Central 2.	02/10/2021	03/10/2021	16

8	Défaut de communication avec le CCN suite défaillance Jarretière Fibre Optique.	14/10/2021	15/10/2021	2
9	Inaccessibilité Arrivée 10kV.	24/11/2021	26/11/2021	2
10	Inaccessibilité départ MT (Ville 3) sur Télécommande au PCG GHARDAIA.	20/01/2022	21/01/2022	10
11	Messagerie en panne.	25/02/2022	27/02/2022	25
12	non fonctionnement alarme sur télécommande.	28/03/2022	29/03/2022	13
13	Inaccessibilité des postes au niveau CCN Guerrara1 et Guerrara2.	16/04/2022	17/04/2022	9
14	Inaccessibilité au niveau de PCG Ghardaïa.	18/05/2022	19/05/2022	5
15	Alarme répétitif au niveau de CCN (Défaut communication constaté).	24/07/2022	25/07/2022	1
16	Inaccessibilité au niveau de PCG Ghardaïa.	23/08/2022	24/08/2022	7
17	Inaccessibilité au niveau de PCG Ghardaïa.	25/10/2022	27/10/2022	3
18	Anomalie sur Travée 60 kV et Alarme Persistante Affichée sur protection REL316 au poste Guerrara1.	08/11/2022	09/11/2022	1
19	non fonctionnement alarme sur télécommande.	27/12/2022	28/12/2022	1

5.3 L'application des méthodes d'analyse :

5.3.1 Application de la loi de Pareto (la courbe ABC) :

Pour utiliser et appliquer la méthode de Pareto, on doit :

- 1) Classer les heures des équipements de télécommunications on ordre décroissant selon leur valeur.
- 2) Calculer les cumuls et les pourcentages de ces équipements.
- 3) Calculer le cumul aussi les pourcentages des fréquences des pannes.

L'application de la méthode est représentée dans le tableau suivant (5-2) :

Tableau 5-2 : Analyse ABC (Pareto).

N°	Désignation de l'anomalie	La fréquence de l'anomalie	Temps d'arrêt (h)	Cumul de fréquence	Cumul de temps d'arrêt	Cumul de fréquence en %	Cumul de temps d'arrêt en %
1	jarrettière optique liaison SDH HRM1 Défaillante.	1	46	1	46	5,26 %	15,70 %
2	Perte de communication Travée 220KV TILGHEMT au niveau du CCN HRM1.	1	42	2	88	10,53 %	30,03 %
3	Inaccessibilité Arrivée TRS N°2 au poste OUERGLA.	1	37	3	125	15,79 %	42,66 %
4	Alarme ne s'arrête pas suite défaut Fibre Optique.	1	31	4	156	21,05 %	53,24 %
5	Messagerie en panne.	1	25	5	181	26,31 %	61,77 %
6	Alarme ne s'arrête pas au poste Guerrara1.	1	24	6	205	31,58 %	70 %
7	Apparition défaut équipement commutateur LAN 220kV (SWITCH BR 20) Travée 220kV ATR N°1.	1	18	7	223	36,84 %	76,11 %
8	Perte de communication entre la REL670 et D60 constatée à la Central 2.	1	16	8	239	42,10 %	81,57 %
9	Inaccessibilité au niveau de PCG Ghardaïa.	3	15	11	254	57,89 %	86,69 %
10	non fonctionnement alarme sur télécommande.	2	14	13	268	68,42 %	91,47 %
11	Inaccessibilité départ MT (Ville 3) sur Télécommande au PCG GHARDAIA.	1	10	14	278	73,68 %	94,88 %
12	Inaccessibilité des postes au niveau CCN Guerrara1 et Guerrara2.	1	9	15	287	78,94 %	97,95 %

13	Défaut de communication avec le CCN suite défaillance Jarretière Fibre Optique.	1	2	16	289	84,21 %	98,63 %
14	Inaccessibilité Arrivée 10kV.	1	2	17	291	89,47 %	99,32 %
15	Anomalie sur Travée 60 kV et Alarme Persistante Affichée sur protection REL316 au poste Guerrara1.	1	1	18	292	94,73 %	99,66 %
16	Alarme répétitif au niveau de CCN (Défaut communication constaté).	1	1	19	293	100 %	100 %

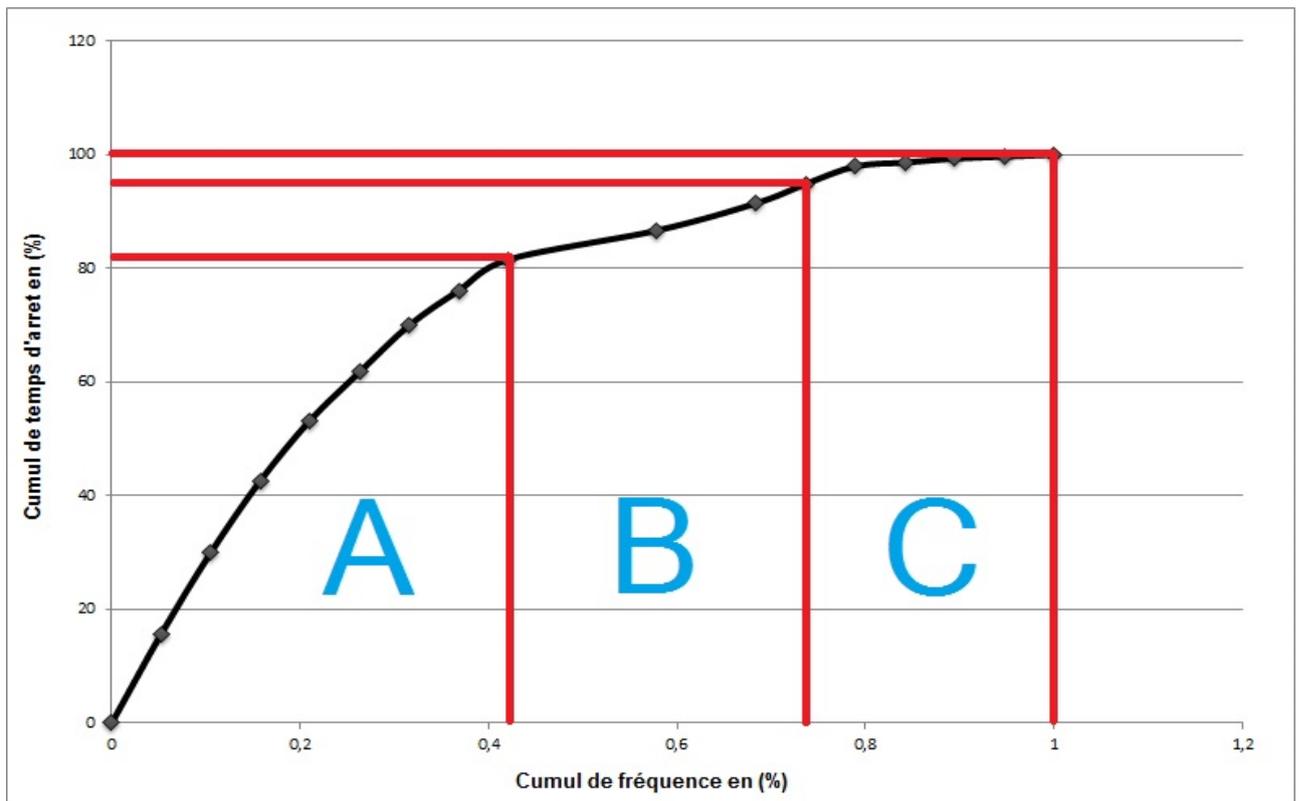


Figure 5-1 : La Courbe ABC.

Interprétation:

D'après la figure 5-1, nous avons remarqué les trois zones de la courbe ABC :

❖ **Zone "A"** : 81.57% des heures d'arrêt sont les conséquences des pannes, dont ces Fréquences représentent 42.10% de la totalité. Ce qui veut dire que les éléments appartiens à cette zone sont les plus perturbés par rapport aux autres parce qu'ils représentent un cumule de temps d'arrêt le plus élevé, Ces éléments (perturbés) sont les suivant :

Les composants de la zone A (les plus Importants) :

1. jarretière optique liaison SDH HRM1 Défaillante.
2. Perte de communication Travée 220KV TILGHEMT au niveau du CCN HRM1.
3. Inaccessibilité Arrivée TRS N°2 au poste OUERGLA.
4. Alarme ne s'arrête pas suite défaut Fibre Optique.
5. Messagerie en panne.
6. Alarme ne s'arrête pas au poste Guerrara1.
7. Apparition défaut équipement commutateur LAN 220kV (SWITCH BR 20) Travée 220kV ATR N°1.
8. Perte de communication entre la REL670 et D60 constatée à la Central 2.

❖ **Zone "B"** : 13.31% des heures d'arrêt sont la conséquence des pannes, dont sa fréquence cumulée représentent 31,58% des fréquences des pannes (voir tableau 5-2).

❖ **Zone "C"** : les 5.12% des heures d'arrêt sont la conséquence des pannes, dont sa fréquence cumulée représentent 26,32% des fréquences des pannes (voir tableau 5-2).

Alors, pour minimiser les temps d'arrêt et donc minimiser les couts le service de maintenance doit :

- ➔ Renforcer le programmer de la maintenance Préventive systématique des dispositifs de la zone A en modifiant la périodicité (réduire les temps entre entretien) et en respectant les actions principales mentionnées dans le référentiel technique.

- Assurer des formations spécialisées pour le personnel technique sur les éléments précédentes et ces défauts pour bien améliorer la maintenabilité et pour donner plus d'efficacité.
- Assurer les pièces de sécurité (de rechange) relatives aux éléments de la zone A.

5.3.2 L'analyse FMD :

5.3.2.1 La Fiabilité :

Pour une bonne précision dans notre analyse nous avons opté pour la **loi de Weibull**.

Dans le tableau suivant (5-3) nous avons classé les TBF (temps de bon fonctionnement) par ordre croissant, et les valeurs de F(t) calculées par la méthode des rangs moyen d'où :

$$F(t) = \frac{N_i}{N+1} \text{ (parce que dans notre cas } 20 < N=25 < 50 \text{).}$$

Pour tracer la courbe de F(t) en fonction du TBF Nous avons utilisé le logiciel **Minitab19** comme cela nous serons plus sûr et plus précis :

Tableau 5-3 : Estimation de la fonction de répartition.

Rang	TBF	F(t)
1	48	0,03846154
2	96	0,07692308
3	288	0,11538462
4	336	0,15384615
5	456	0,19230769
6	552	0,23076923
7	696	0,26923077
8	720	0,30769231
9	768	0,34615385
10	768	0,38461538
11	816	0,42307692
12	864	0,46153846
13	912	0,5
14	984	0,53846154
15	1176	0,57692308
16	1224	0,61538466
17	1416	0,65384615
18	1512	0,69230769

19	1608	0,73076923
20	2112	0,76923077

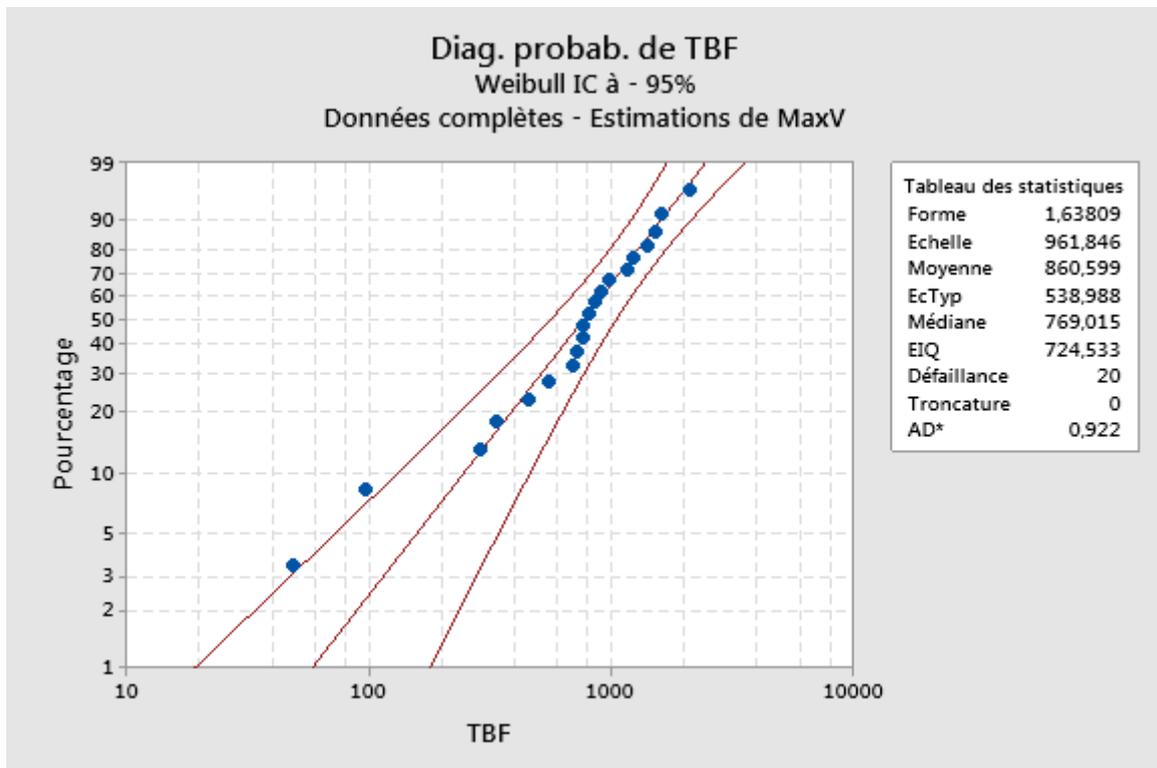


Figure 5-2 : Courbe de Weibull.

D'après la courbe de la (Figure 5-2) Les paramètres de la loi de Weibull peuvent être utilisés pour calculer la fonction de répartition théorique $F(t)$. Le tableau ci-dessous présente un résumé des valeurs de ces paramètres :

Tableau 5-4 : paramètre de weibull.

paramètre	valeur
Eta (η)	961.846
Gamma (γ)	0
Beta(β)	1.638
Paramètre A	0.8966
MTBF	862.53 h
Ecart-type σ	538.988

Il est nécessaire de tester l'hypothèse pour déterminer si le travail proposé peut être accepté ou refusé, y compris la fiabilité, la densité de probabilité, la fonction de répartition et le test de KOLMOGOROV-SMIRNOV pour calculer le taux de défaillance.

Test de KOLMOGOROV – SMIRNOV :

Le but de ce test est de comparer la fonction de répartition des défaillances réelle et théorique.

Il s'agit de déterminer l'écart entre ces deux fonctions en point par point.

$$Dni = |Fe(t) - F(t)|$$

La fonction de répartition réelle est $F(t)$, qui peut être trouvée en utilisant la méthode des rangs moyens :

$$F(t) = \frac{Ni}{N+1}$$

$Fe(t)$ est la fonction de répartition théorique donné par l'équation suivante :

$$Fe(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Le tableau suivant résume les résultats du calcul :

Tableau 5-5 : comparaison entre la fonction réelle de répartition des défaillances par la fonction de répartition théorique.

N°	TBF	F(t)	Fe(t)	Dni
1	48	0,03846154	0,007344235	0.031117305
2	96	0,07692308	0,022680943	0.054242137
3	288	0,11538462	0,129533538	0.014148918
4	336	0,15384615	0,163537372	0.009691222
5	456	0,19230769	0,255082028	0.062774338
6	552	0,23076923	0,331479752	0.100710522
7	696	0,26923077	0,444931321	0.175700551
8	720	0,30769231	0,463279068	0.155586758
9	768	0,34615385	0,499257562	0.153103712
10	768	0,38461538	0,499257562	0.153103712
11	816	0,42307692	0,534141703	0.111064783
12	864	0,46153846	0,567791323	0.106252863
13	912	0,5	0,600093991	0.100093991
14	984	0,53846154	0,645839172	0.107377632
15	1176	0,57692308	0,750913146	0.173990066
16	1224	0,61538466	0,773290553	0.157905893
17	1416	0,65384615	0,848041340	0.194195190

18	1512	0,69230769	0,877282688	0.184974998
19	1608	0,73076923	0,901769287	0.171000057
20	2112	0,76923077	0,973398416	0.204167646

Le tableau V.5 montre que $D_{max} = 0.204167646$ et d'après le tableau de KOLMOGOROV-SMIRNOV $D_{n,\alpha} = D_{20,0.05} = 0.294$.

Donc $D_{max} < D_{n,\alpha}$, implique que le modèle de Weibull est acceptable.

La fonction de répartition $Fe(t)$:

$$Fe(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Tableau 5-6 : La fonction de répartition.

Rang	TBF	Fe(t)
1	48	0.007344235
2	96	0.022680943
3	288	0.129533538
4	336	0.163537372
5	456	0.255082028
6	552	0.331479752
7	696	0.444931321
8	720	0.463279068
9	768	0.499257562
10	768	0.499257562
11	816	0.534141703
12	864	0.567791323
13	912	0.600093991
14	984	0.645839172
15	1176	0.750913146
16	1224	0.773290553
17	1416	0.848041340
18	1512	0.877282688
19	1608	0.901769287
20	2112	0.973398416

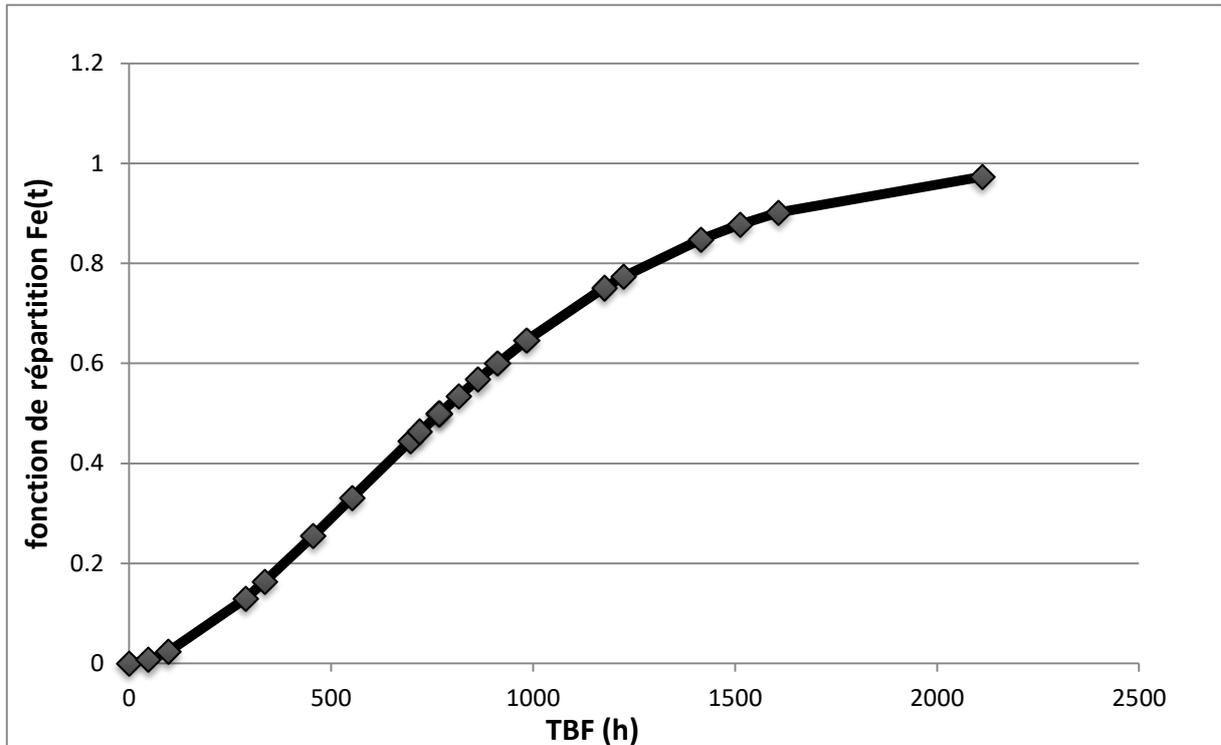


Figure 5-3 : Fonction de répartition $F_e(t)$ en fonction du TBF.

Interprétation : La figure 5-3 montre les changements de la Fonction de répartition en fonction de TBF.

Nous avons remarqué d'après cette courbe qu'avec l'augmentation du temps de bon de fonctionnement (TBF), la fonction de répartition augmente, ce qui nous indique que les problèmes des Matériels de Télécommunications sont en accroissement durant la période 2021/2022.

Calculs de la fiabilité, de la densité de probabilité et du taux de défaillance :

- o Fonction de Fiabilité : $R(t) = 1-F(t)$
- o Fonction de densité de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$.
- o Fonction de taux de défaillance : $\lambda = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$.

Tableau 5-7 : calcul de la fiabilité, la densité de probabilité et du taux de défaillance.

Rang	TBF	Fonction de réparation Fe(t)	Fiabilité R(t) = 1- F(t)	Densité de probabilité f(t)	Taux de défaillance λ(t)
1	48	0.007344235	0.992655765	0.00024970	0.00025155
2	96	0.022680943	0.977319057	0.00038257	0.00039145
3	288	0.129533538	0.870466462	0.00068680	0.00078900
4	336	0.163537372	0.836462628	0.00072818	0.00087054
5	456	0.255082028	0.744917972	0.00078798	0.00105781
6	552	0.331479752	0.668520248	0.00079884	0.00119493
7	696	0.444931321	0.555068679	0.00076898	0.00138539
8	720	0.463279068	0.536720932	0.00075982	0.00141568
9	768	0.499257562	0.500742438	0.00073869	0.00147519
10	768	0.499257562	0.500742438	0.00073869	0.00147519
11	816	0.534141703	0.465858297	0.00069874	0.00153336
12	864	0.567791323	0.432208677	0.00068735	0.00159031
13	912	0.600093991	0.399906009	0.00065830	0.00164613
14	984	0.645839172	0.354160828	0.00061195	0.00172790
15	1176	0.750913146	0.249086854	0.00048223	0.00193601
16	1224	0.773290553	0.226709447	0.00045026	0.00198606
17	1416	0.848041340	0.151958660	0.00033120	0.00217954
18	1512	0.877282688	0.122717312	0.00027890	0.00227269
19	1608	0.901769287	0.098230713	0.00023219	0.00236373
20	2112	0.973398416	0.026601584	0.00007482	0.00281282

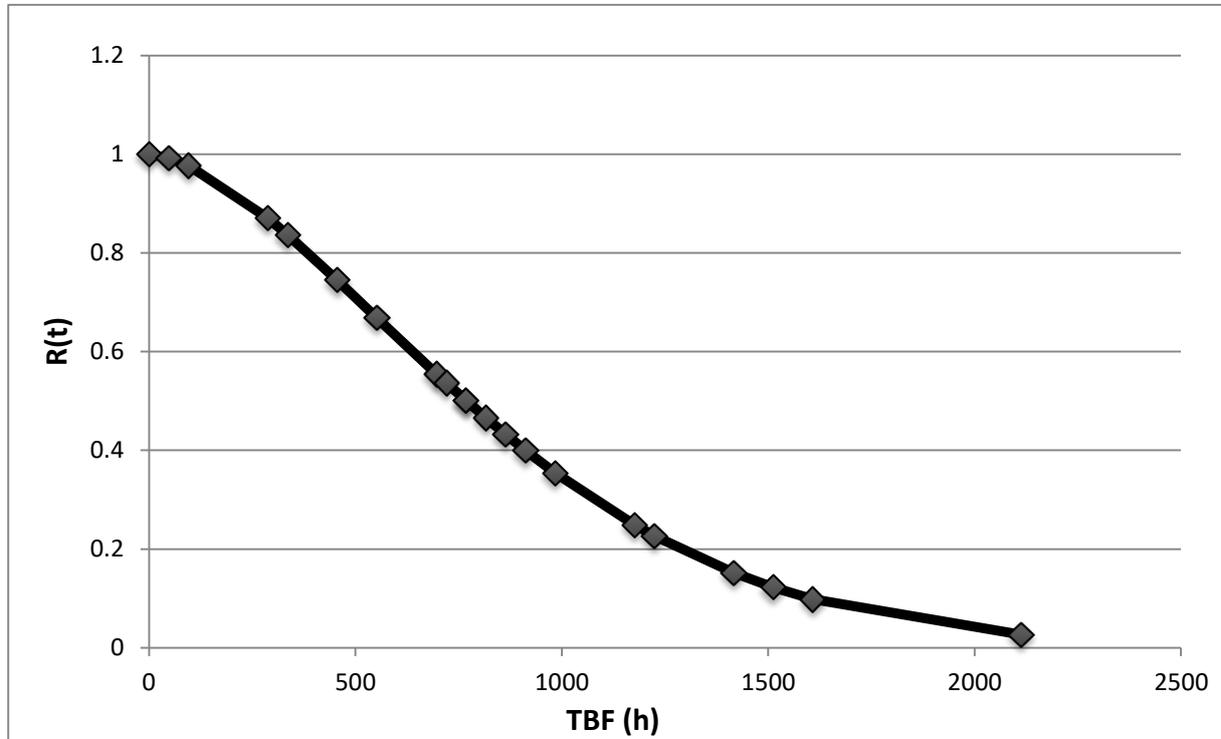
Courbe de fiabilité :

Figure 5-4 : Courbe de fiabilité.

Interprétation:

La figure 5-4 illustre les changements de la Fonction de fiabilité en fonction de TBF. Cette courbe montre clairement que la fonction de fiabilité $R(t)$ diminue en fonction du TBF, cela veut dire que la probabilité du non apparition des défaillances diminue avec le temps de Bon Fonctionnement (TBF). Cela est dû à plusieurs causes et raisons, tels que :

- La mauvaise application de la maintenance préventive (faibles et moyennes compétences).
- Dégradation de l'état du matériels télécommunications
- Formation insuffisante pour les techniciens télécoms

Détermination de l'MTBF :

Pour déterminer la valeur de MTBF, il faut préciser premièrement la valeur de A.

En Annexe le tableau tab.1 nous fournissons les valeurs de A à partir des valeurs de beta β .

$$MTBF = A\eta + \gamma$$

Avec : A= 0.8966 donc : MTBF = 0.8966*961.846+0

$$MTBF = 862.39$$

Nous avons la moyenne des temps de bon fonctionnement **MTBF = 862.39** alors la fiabilité

$$\text{est : } R(t) = e^{-\left(\frac{MTBF-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{862.39-0}{961.846}\right)^{1.638}} = 0.4333 = \mathbf{43.33\%}$$

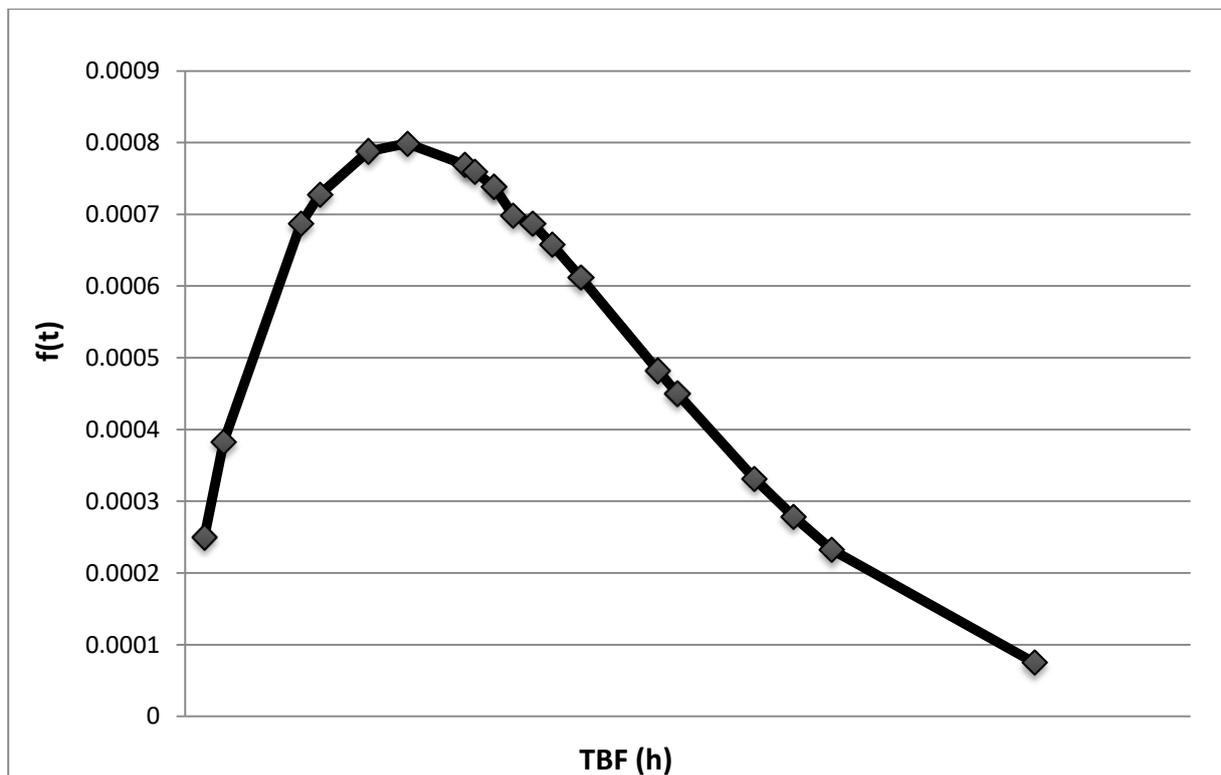
Courbe de Densité de probabilité :

Figure 5-5 : Densité de probabilité en fonction du TBF.

Interprétation :

La densité de probabilité $f(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF) est illustrée dans la Figure 5-5.

Cette Courbe Contient Deux Parties :

Parti 1 : Du début de l'étude jusqu'à TBF = 552h : nous avons remarqué une croissance des valeurs de la densité des défaillances.

Parti 2 : Après 552h de l'intervalle du TBF jusqu'à la fine de l'étude : Nous avons découvert que la courbe de la densité de défaillance diminue progressivement d'une façon presque négligeable (constante), et cela est le résultat de l'expérience des exploitants et des maintenanciers, cela indique aussi que le Matériels de Télécommunications que nous avons étudiés passent actuellement par la période de maturité selon la courbe de baignoire.

Ceci explique la diminution des défaillances avec le temps.

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

$$f(t) = \frac{1.638}{961.846} \cdot \left(\frac{862.39 - 0}{961.846}\right)^{1.638-1} \cdot e^{-\left(\frac{862.39-0}{961.846}\right)^{1.638}}$$

$$f(t) = 0.00069$$

Courbe de taux de défaillance :

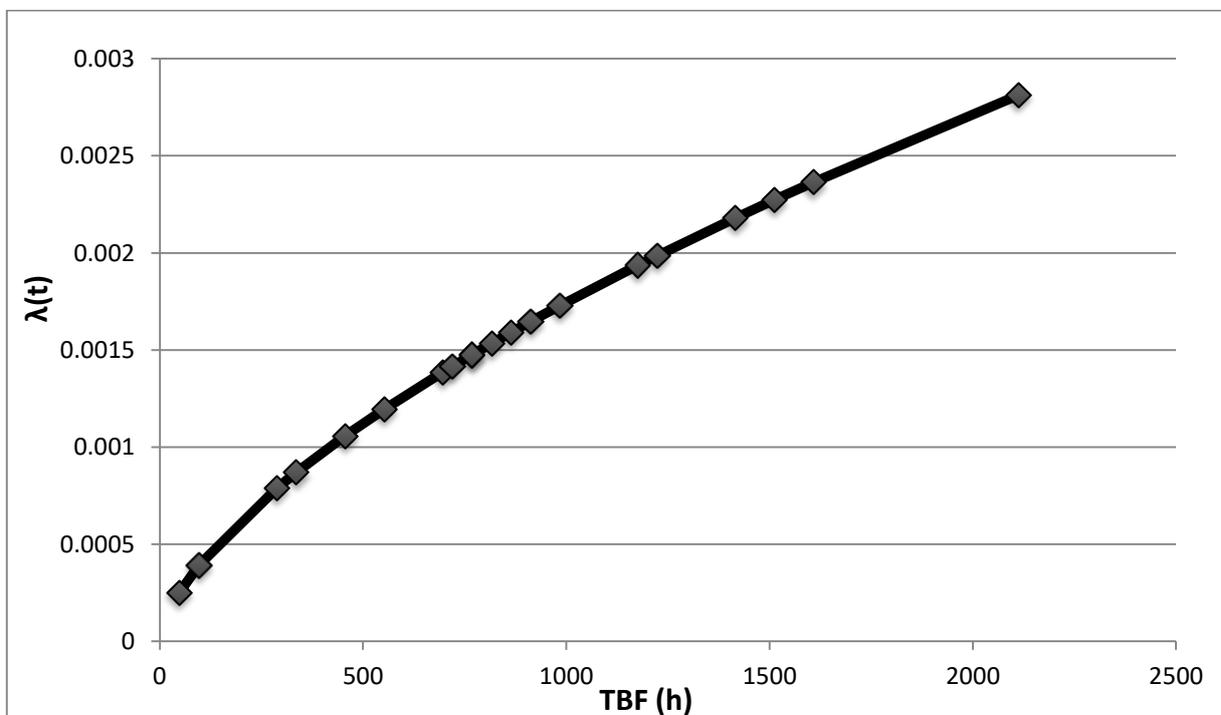


Figure 5-6 : Courbe de taux de défaillance.

Interprétation :

La figure (5-6) représente la courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). On remarque à partir de cette courbe que la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ croît en fonction du TBF, ce qui nous montre clairement la Faiblesse de la maîtrise de la maintenance préventive.

$$\lambda = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

$$\lambda = \frac{1.638}{961.846} \cdot \left(\frac{862.39 - 0}{961.846} \right)^{1.638-1}$$

$$\lambda = 0.0016 \text{ h}^{-1}$$

5.3.2.2 La Maintenabilité :

La fonction de maintenabilité est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{M(t) = 1 - e^{(-\mu t)}}$$

Le taux de réparation est exprimé par :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N_{pannes}} = \frac{293}{20} = 14.65 \text{ h}$$

MTTR : c'est le temps moyen mis pour réparer le système.

$$\text{Donc : } \mu = \frac{1}{14.65} = 0.068 \text{ h}^{-1}$$

Le tableau suivant (5-8) résume les calculs de la maintenabilité du système en fonction du temps de réparation (TTR) :

Tableau 5-8 : calcul de maintenabilité.

Nº	Temps de réparation (h)	M(t)
1	1	0,065739526
2	1	0,065739526
3	1	0,065739526
4	2	0,127157367
5	2	0,127157367
6	3	0,184537629
7	3	0,184537629
8	5	0,288229677
9	7	0,378736518
10	9	0,457734747
11	10	0,493383008
12	13	0,586872906
13	16	0,663110400
14	18	0,705948395
15	24	0,804461893
16	25	0,817316476
17	31	0,878519315
18	37	0,919217910
19	42	0,942501706
20	46	0,956194680

Courbe de Maintenabilité :

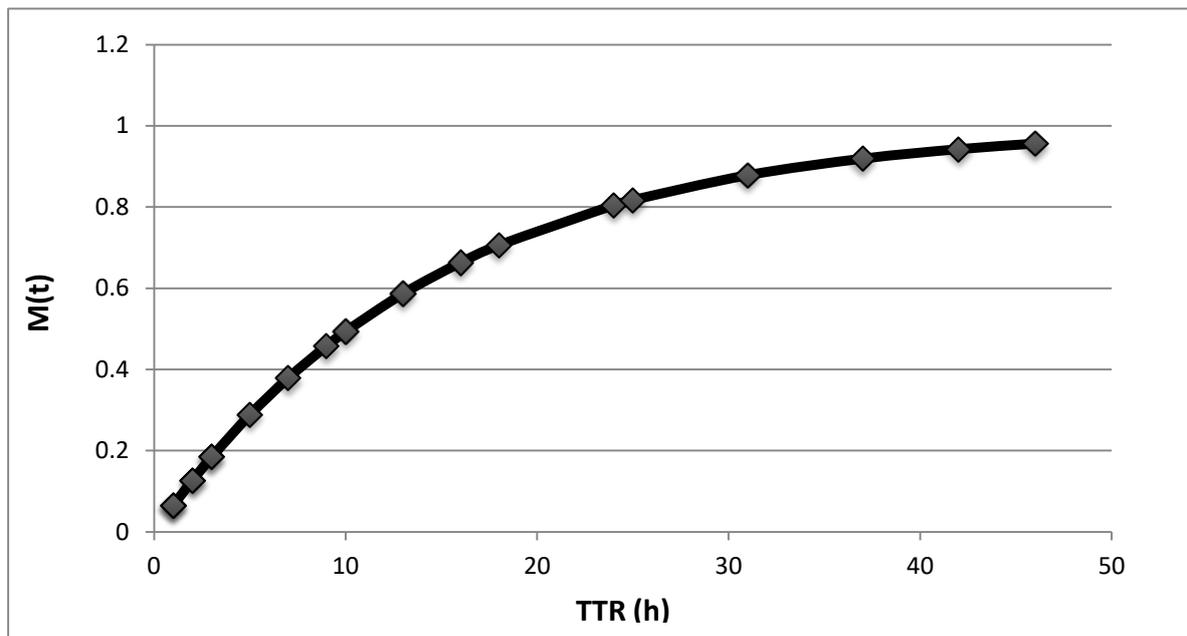


Figure 5-7 : La courbe de maintenabilité.

Interprétation :

D'après la figure 5-7, on remarque que la fonction de la maintenabilité est en croissance en fonction du temps de réparation (TTR), c'est-à-dire l'aptitude pour maintenir le système est en proportionnalité avec le temps de réparation (TTR). Ce qui nous indique clairement la dégradation de Matériels de Télécommunications en fonction du temps ainsi que l'investissement remarquable de l'entreprise sur l'outillage de maintenance, la pièce de sécurité et la formation technique des agents de maintenance et d'exploitation.

$$M(t) = 1 - e^{(-0.068 \cdot 14.65)}$$

$$M(t) = 0.63 \text{ h}$$

5.3.2.3 La Disponibilité :**5.3.2.3.1 Disponibilité intrinsèque au asymptotique :**

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Temps de Bon fonctionnement}}{N} = 867.6\text{h}$$

$$MTTR = 14.65\text{h}$$

$$Di = 0.983$$

Donc :

$$Di = 98.3\%$$

5.3.2.3.2 Disponibilité instantanée :

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

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{867.6} = 0.001$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.068$$

$$\lambda + \mu = 0.001 + 0.068 = 0.069$$

$$D(t) = \frac{0.068}{0.069} + \frac{0.001}{0.069} e^{-(0.069)TTR}$$

Tableau 5-9 : calcul de la disponibilité.

TTR	D(t)
1	0.999033720
1	0.999033720
1	0.999033720
2	0.998131865
2	0.998131865
3	0.997290140
3	0.997290140
5	0.995771309

7	0.994448258
9	0.993295750
10	0.992776465
13	0.991417264
16	0.990312207
18	0.989692841
24	0.988273928
25	0.988089464
31	0.987214095
37	0.986635475
42	0.986306281
46	0.986113564

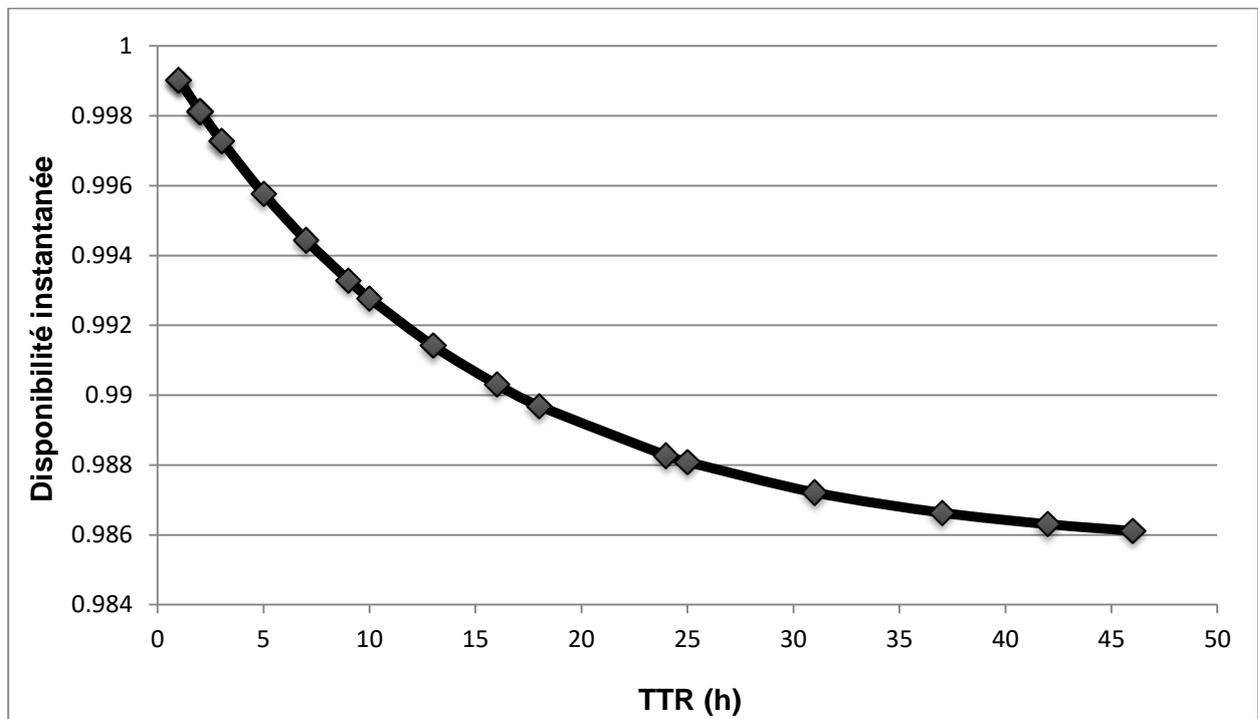


Figure 5-8 : La Courbe de disponibilité instantanée.

Interprétation :

D'après la figure 5-8, on remarque que La fonction de disponibilité instantanée est décroissante par rapport au TTR. Ce qui nous indique clairement la dégradation des dispositifs de Télécommunication et la croissance des défaillances due à la mauvaise politique de maintenance et à la mal gestion des stocks durant cette période 2021/2022.

5.3.3 L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC) :

Tableau 5-10 : fréquence des anomalies.

Fréquences (O)	
1	$1 \geq$ défaillance par ans
2	$10 \geq$ défaillance par ans > 1
3	$28 \geq$ défaillance par ans > 10
4	défaillance par ans > 28

Tableau 5-11 : Probabilités de non détection de défaillance.

Probabilités de non détection (D)	
1	Visite par operateur
2	Détection assurée par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indésirable

Tableau 5-12 : La gravité.

La gravite (G)	
1	Pas d'arrêt de fonctionnement
2	Arrêt \leq 1 heure
3	1 heure $<$ Arrêt \leq 1 jour
4	Arrêt $>$ 1 jour

Tableau 5-13 : Niveaux de la criticité.

Niveaux de criticité	Action corrective a engagé
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification de conception maintenance correctif
$10 \leq C < 20$ Criticité moyenne	Amélioration des performances d'élément Maintenance Préventive systématique
$20 \leq C < 40$ Criticité élevée	Révision de la conception des sous-ensembles et du choix des éléments de surveillance particulière de la maintenance préventive conditionnelle / prévisionnelle
$40 \leq C < 64$ Criticité interdit	Remise en cause complète de la conception

5.3.3.1 Tableau AMDEC :

Tableau 5-14 : L'analyse AMDEC.

N°	Défaillances			C=O*D*G			
	Mode	Cause	Effet	Criticités			
				O	D	G	C
1	jarretière optique liaison SDH HRM1 Défaillante.	-Acte de sabotage. - Fausse manœuvre - jarretière mal protégée	-Le courant n'est pas bien transmis.	4	3	1	12
2	Perte de communication Travée 220KV TILGHEMT au niveau du CCN HRM1.	-Déconnexion installation BT de commande.	-Travée non protégée.	4	2	2	16
3	Inaccessibilité Arrivée TRS N°2 au poste OUERGLA.	- Problème de support télécom -Routeur Bloqué.	-problème de contrôle.	3	1	2	6
4	Alarme ne s'arrête pas suite défaut Fibre Optique.	-Problème électrique BT du circuit de commande.	-échauffement du fil.	3	1	2	6
5	Messagerie en panne.	-Serveur Bloqué. -Problème du système intranet	-problème de contrôle.	2	1	2	4
6	Alarme ne s'arrête pas au poste Guerrara1.	-Problème électrique de signalisation.	-Le courant n'est pas bien transmis.	4	2	1	8
7	Apparition défaut équipement commutateur LAN 220kV (SWITCH BR 20) Travée 220kV ATR N°1.	-Les composants électroniques défectueux. - Problème d'alimentation.	-Travée non protégée.	4	3	4	48
8	Perte de communication entre la REL670 et D60 constatée à la Central 2.	- Problème de support télécom -Routeur Bloqué.	-Travée non protégée.	4	2	3	24
9	Inaccessibilité au niveau de PCG Ghardaïa.	- Problème de support télécom -Routeur Bloqué.	-problème de téléconduite. - Poste non protégée.	2	3	4	24

N°	Défaillances			C=O*D*G			
	Mode	Cause	Effet	Criticités			
				O	D	G	C
10	non fonctionnement alarme sur télécommande.	- système de communication en défaut.	- problème de téléconduite.	4	2	1	8
11	Inaccessibilité départ MT (Ville 3) sur Télécommande au PCG GHARDAIA.	- Problème de support télécom -Routeur Bloqué.	- un manque de communication entre les capteurs et les organes de commande.	2	2	2	8
12	Inaccessibilité des postes au niveau CCN Guerrara1 et Guerrara2.	- Problème de support télécom -Routeur Bloqué.	- Perte téléconduite des deux postes.	4	2	2	16
13	Défaut de communication avec le CCN suite défaillance Jarretière Fibre Optique.	-Acte de sabotage. - Fausse manœuvre - jarretière mal protégée	- Perte source d'info nécessaire pour la protection du réseau électrique.	2	3	2	12
14	Inaccessibilité Arrivée 10kV.	- Problème de support télécom -Routeur Bloqué.	- Perte du contrôle et de la teleconduite Arrivée 10kV Client.	3	3	4	36
15	Anomalie sur Travée 60 kV et Alarme Persistante Affichée sur protection REL316 au poste Guerrara1.	- Problème électrique de commande. - Problème d'alimentation. - système de communication en défaut.	- Travée non protégée. - Perturbation contrôle poste.	3	4	3	36
16	Alarme répétitif au niveau de CCN (Défaut communication constaté).	- système de communication en défaut.	- problème de téléconduite.	4	2	1	8

Interprétation des résultats :

D'après le tableau précédent (5-14), nous avons remarqué que la criticité des défaillances est entre 4/64 et 48/64. Donc, pour le bon fonctionnement du système, le service maintenance doit appliquer :

Une maintenance préventive sur les composants qui ont un indice de criticité ≥ 9 :

- jarretière optique liaison SDH HRM1 Défaillante.
- Perte de communication Travée 220KV TILGHEMT au niveau du CCN HRM1.
- Apparition défaut équipement commutateur LAN 220kV (SWITCH BR 20) Travée 220kV ATR N°1.
- Perte de communication entre la REL670 et D60 constatée à la Central 2.
- Inaccessibilité au niveau de PCG Ghardaïa.
- Inaccessibilité des postes au niveau CCN Guerrara1 et Guerrara2.
- Défaut de communication avec le CCN suite défaillance Jarretière Fibre Optique.
- Inaccessibilité Arrivée 10kV.
- Anomalie sur Travée 60 kV et Alarme Persistante Affichée sur protection REL316 au poste Guerrara1.

Une maintenance corrective sur les composants qui ont un indice de criticité < 9 :

- Inaccessibilité Arrivée TRS N°2 au poste OUERGLA.
- Alarme ne s'arrête pas suite défaut Fibre Optique.
- Messagerie en panne.
- Alarme ne s'arrête pas au poste Guerrara1.
- non fonctionnement alarme sur télécommande.
- Inaccessibilité départ MT (Ville 3) sur Télécommande au PCG GHARDAIA.
- Alarme répétitif au niveau de CCN (Défaut communication constaté).

5.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, Nous avons étudié et réalisé l'historique des défaillances du système de Matériel de Télécommunication au sein de l'entreprise STE SONELGAZ - Transport de l'électricité poste de Ghardaïa entre la période 2021 et 2022 Dans le but d'éliminer tous les dysfonctionnements et améliorer la production de l'entreprise, nous avons appliqué trois méthodes principal :

- la méthode de Pareto (courbe ABC) pour savoir qu'elles sont les éléments les plus provoquants des arrêts remarquables de Matériel.

- La méthode FMD, qui nous a aidés pour bien étudier ces défauts en déterminant la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité, Cette méthode nous a permis aussi de suivre l'évolution des défauts en fonction du temps en traçant et interprétant plusieurs courbes des paramètres de la maintenance.

- Finalement, nous avons effectué une autre analyse qui se base aussi sur l'historique des défaillances de matériel de télécommunication en question, cette méthode d'analyse s'appelle la méthode AMDEC. nous avons pu déterminer les causes qui ont conduit à ces défauts et les effets de ces défauts, et nous avons déterminé le type de maintenance pour chaque défaut.

Conclusion générale :

La maintenance industrielle est un élément essentiel dans le développement de tous les besoins des grandes entreprises, car il est nécessaire d'améliorer la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité aussi réduire tous les dysfonctionnements et pannes de système Electromécanique.

Notre étude a porté sur la réalisation d'un stage appliqué au sein de l'entreprise STE SONELGAZ - Transport de l'électricité Ghardaïa, Ce stage appliqué Cela nous a permis d'avoir une vision plus large du domaine de la maintenance industrielle en tous genres, et nous a également fait approfondir nos connaissances générales sur les équipements importants de l'entreprise. A travers ce stage appliqué, nous avons aussi pu extraire l'historique des pannes de notre système choisi (Optimisation de la maintenance préventive du matériel de télécommunication).

Afin d'optimiser la maintenance appliquée sur le système étudié, nous avons pu utiliser les méthodes d'analyse utilisées en maintenance telles que la méthode ABC, l'étude FMD et la méthode AMDEC en utilisant l'historique des pannes du système choisi.

D'abord, nous avons étudié l'historique des pannes de tous les équipements de télécommunications, et puis nous appliquons la méthode de Pareto (courbe ABC) pour déterminer ce qui provoque les arrêts remarquables, Nous avons trouvé que 81.57% des heures d'arrêt sont les conséquences des pannes, dont ces fréquences représentent 42.10% de la totalité de ces pannes c'est-à-dire la zone A la plus critique par rapport aux autres zones (B et C).

Ensuite, nous avons réalisé un diagnostic par analyse FMD, afin de déterminer et tracer la fonction de défaillance, fiabilité, le taux de défaillance, la maintenabilité et disponibilité, nous avons trouvé :

$$R(t) = 43.18 \% \quad , \quad M(t) = 0.63 \% \quad , \quad Di = 98.3 \%$$

Après cette analyse, nous avons trouvé que la fiabilité du système est très faible Sa vaut dire que le système est à la fin de la période de maturité.

Conclusion générale

Ainsi, par l'utilisation de méthode AMDEC nous avons calculé la criticité de chacun ces éléments de système et déterminer le type de maintenance (préventive ou corrective).

Nous avons pu proposer à la fin de l'étude les recommandations suivantes :

- ✚ Renforcer la maintenance préventive pour les éléments importants suivants :
 - Vérification jarretière optique liaison SDH HRM1 suite manque.
 - Perte de communication Travée 220kV TILGHEMT au niveau de CCN à HRM1.
 - Apparition défaut équipement commutateur LAN 220kV (SWITCH BR 20) Travée 220kV ATR N°1.
 - Perte de communication entre la REL670 et D60 constatée à CENTRAL2. .
 - Remplacement Jarretière Fibre Optique Suite défaut de communication avec le CCN.
- ✚ Appliquer une maintenance corrective appropriée aux composants suivants :
 - Inaccessibilité Arrivée TRS N°2 au poste OUERGLA.
 - Alarme répétitif au niveau de CCN (Défaut communication constaté).
 - Inaccessibilité départ MT (Ville 3) sur Télécommande au PCG GHARDAIA.
- ✚ Prévenir et préparer un bon stockage des pièces de sécurité relatives aux protections plus perturbées.
- ✚ Programmer une bonne formation pour le technicien sur les dispositifs du matériel de télécommunication.
- ✚ Il est obligé de renforcer la maintenance préventive conditionnelle sur les éléments de la zone A.
- ✚ Mettre et créer une stratégie de maintenance préventive pour maintenir la fiabilité du système.
- ✚ Appliquer la politique de maintenance pour réduire et diminuer le TTR et augmenter le MTBF.

Bibliographie

Bibliographie :

[1] <https://www.sonelgaz.dz/fr/category/historique>

[2] Groupe Sonelgaz, XD« Guide Technique de Distribution », Document technique de Groupe SONELGAZ, 1984.

[3] <https://www.sonelgaz.dz/fr/>

[4] BELLAOUAR mohamed safie eddine, BOURAS hadj mohamed. optimisation de la maintenance preventive d'une travee ligne HT (au sein du poste de transformation de GRTE ghardaia). Mémoire pour l'obtention du diplôme de master, Université De Ghardaïa, 2021.

[5] Documentation SONELGAZ-TRANSPORT DE L'ELECTRICITE (PCG Ghardaïa)

[6] <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/grid-levels.html>

[7] <http://www.hydroelectricite.ca/fr/info-images.php?id=95>

[8] <https://docplayer.fr/108761647-Presentation-du-reseau-electrique-terminologie-et-concept-de-base.html>

[9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Poste_%C3%A9lectrique

[10] <https://www.exoco-lmd.com/reseaux-electriques/cours-reseau-electrique/?action=dlattach;attach=493>

[11] <https://www.cairn.info/la-vie-electrique--9782701189673-page-31.htm>

[12] <https://fr.theastrologypage.com/telecommunications-equipment>

[13] <https://www.arteche.com/fr/circuit-bouchons#:~:text=Les%20circuits%2Dbouchons%20servent%20%C3%A0,%C3%A9vite%20la%20perte%20de%20signal>

[14] <https://conservatoire.estelenerg.org/circuit-bouchon/#:~:text=Le%20circuit%20bouchon%20Haefely%20est,une%20combinaison%20de%20capacit%C3%A9s%20contenues>

[15] https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8353125/cable-de-garde-a-fibres-optiques?utm_campaign=Redirection%20des%20anciens%20outils&utm_content=id_fiche%3D8353125&utm_source=GDT

[16] specification technique ONEE , câble de garde a fibre optique OPGW

[17] <https://entreprises.selectra.info/telecom/guides/technologies/faisceau-hertzien>

[18] [https://www.viavisolutions.com/fr-fr/principe-de-fonctionnement-et-caracteristiques-des-reflectometres-optiques-otdr#:~:text=Un%20r%C3%A9flectom%C3%A8tre%20optique%20\(OTDR\)%20est,et%20analyse%20la%20lumi%C3%A8re%20r%C3%A9fl%C3%A9chie](https://www.viavisolutions.com/fr-fr/principe-de-fonctionnement-et-caracteristiques-des-reflectometres-optiques-otdr#:~:text=Un%20r%C3%A9flectom%C3%A8tre%20optique%20(OTDR)%20est,et%20analyse%20la%20lumi%C3%A8re%20r%C3%A9fl%C3%A9chie)

- [19] <http://www.soudeuse-optique.com/principe-otdr.html>
- [20] [https://aws.amazon.com/fr/what-is/wan/#:~:text=Un%20r%C3%A9seau%20C3%A9tendu%20\(WAN\)%20est,vo tre%20stockage%20cloud%20entre%20eux.](https://aws.amazon.com/fr/what-is/wan/#:~:text=Un%20r%C3%A9seau%20C3%A9tendu%20(WAN)%20est,vo tre%20stockage%20cloud%20entre%20eux.)
- [21] <https://www.awoui.com/post/les-r%C3%A9seaux-%C3%A9tendus-wan-wide-area-network>
- [22] [https://www.lemagit.fr/definition/Fibre-noire#:~:text=La%20fibre%20noire%20\(ou%20C2%AB%20dark,aucune%20i mpulsion%20n'est%20envoy%C3%A9e.](https://www.lemagit.fr/definition/Fibre-noire#:~:text=La%20fibre%20noire%20(ou%20C2%AB%20dark,aucune%20i mpulsion%20n'est%20envoy%C3%A9e.)
- [23] <https://www.silicon.fr/avis-dexpert-fibre-optique-noire-90376.html>
- [24] <https://teltrends.com.ph/products/security-and-transmission-access-solutions/small-form-factor-pluggable/>
- [25] <https://www.techslang.com/definition/what-is-an-sfp/#:~:text=Xenpak%2C%20XFP%2C%20and%20modern%20SFPs,of%20band width%20they%20can%20transmit.>
- [26] M. MERZOUG hocine. ***Support du cours : techniques de détection des défaillances.***
- [27] Joël M.Zinsalo. ***maintenance des équipements hydraulique.*** Université d'Abomey Calavi, BENIN.
- [28] <https://mobility-work.com/fr/blog/niveaux-maintenance-afnor/>
- [29] Mme Benaïcha Halima « Analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle » Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohammed Boudiaf 2015.
- [30] 1 INTRODUCTION A LA MAINTENANCE
- [31] http://elt.univ-batna2.dz/sites/default/files/elct/files/maintenance_surete_de_fonctionnement-decouverte-dr-salima-drid.pdf
- [32] <https://www.l-expert-comptable.com/a/51976-la-methode-abc-une-variante-du-calcul-des-couts-complets.html>
- [33] <https://koust.net/lanalyse-abc-des-achats/>
- [34] KHENNANE Aboubakr Esseddik, BOUKHRIS Khireddine. Application de la méthode ABC sur un système de stockage. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master, 2020/2021
- [35] <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/qoqocp>
- [36] Le Site Technique des Industries d'Habillement au Maroc

- [37] GHADA Abdelouahab, GUELLIL Lamine. L'amélioration de la maintenance préventive d'un disjoncteur 220 kV. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master, 2019/2020
- [38] <https://www.humanperf.com/fr/blog/lexique-cplusclair/articles/methodeqqoqcp>.
- [39] KELADA. J, 1994, l'AMDEC, École des Études Commerciales : Centre d'étude en qualité totale.
- [40] <https://qualite.ooreka.fr/comprendre/amdec>
- [41] Eric METAIS. *analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité* .DEVINCI Conseil, 2004.
- [42] <https://blog-gestion-de-projet.com/amdec/>
- [43] «Introduction à la maintenance» Institut supérieur des études technologiques de Nabeul, Tunisia, 2013 / 2014
- [44] Christian Hohmann, Technique De Productivité, livre.
- [45] B.ZEROUALI, « Analyse Du Comportement De Systèmes Industriels Par Les Réseaux Bayésiens Pour La Prévention Des Scenarios Indésirables », Thèse de doctorat LMD, université Badji Mokhtar- Annaba, 2018.
- [46] F.ZOHRA, « Utilisation des réseaux bayésiens pour calculer la fiabilité des systèmes »,Mémoire de Magister, université de SAAD DAHLAB-BLIDA, 2010.
- [47] Boutemedjet Chouaib, «Sreté de Fonctionnement et Evaluation de Performance du Système de Production du Champ Gazier Menzel Ledjmet East (Mle) », Mémoire Magister Université, M'hamed Bougara.
- [48] A. BELHOMME. *cours stratégie de maintenance*, 2010.
- [49] Kahal Housseyn,« Réseaux Bayésiens Dynamiques: Application Aux Réseaux Electriques», Mémoire Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- [50] <https://homeomath2.immingo.net/loiweibull2.htm>
- [51] Hassan Benariba, (Fiabilité et maintenance des systèmes (Électroniques), Cours, 2020-2021.
- [52] <https://www.praxedo.fr/notre-blog-specialise/comment-optimiser-la-maintenabilite-de-vos-equipements>
- [53] RAMDANE Mahfoud, BENAOUMEUR Chikhnacer. Optimisation de la maintenance préventive de la protection électrique d'une travée ligne HT. Mémoire master, 2021/2022
- [54] TOUMI ouail, AKERMI said. *étude analytique de la maintenance préventive d'une turbine à gaz ge10/2*. Mémoire Master Académique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019.

Annexes

Les Annexes :

Annexe tab.1

β	A	B	B	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,65	0,8942	0,556	4,2	0,9089	0,244
0,25	24	199	1,70	0,8922	0,540	4,3	0,9102	0,239
0,30	9,2605	50,08	1,75	0,8906	0,525	4,4	0,9114	0,235
0,35	5,0731	19,98	1,80	0,8893	0,511	4,5	0,9126	0,230
0,40	3,3234	10,44	1,85	0,8882	0,498	4,6	0,9137	0,226
0,45	2,4786	6,44	1,90	0,8874	0,486	4,7	0,9149	0,222
0,50	2	4,47	1,95	0,8867	0,474	4,8	0,9160	0,218
0,55	1,7024	3,35	2	0,8862	0,463	4,9	0,9171	0,214
0,60	1,5046	2,65	2,1	0,8857	0,443	5	0,9182	0,210
0,65	1,3663	2,18	2,2	0,8856	0,425	5,1	0,9192	0,207
0,70	1,2638	1,85	2,3	0,8859	0,409	5,2	0,9202	0,203
0,75	1,1906	1,61	2,4	0,8865	0,393	5,3	0,9213	0,200
0,80	1,1330	1,43	2,5	0,8873	0,380	5,4	0,9222	0,197
0,85	1,0889	1,29	2,6	0,8882	0,367	5,5	0,9232	0,194
0,90	1,0522	1,17	2,7	0,8893	0,355	5,6	0,9241	0,191
0,95	1,0234	1,08	2,8	0,8905	0,344	5,7	0,9251	0,186
1	1	1	2,9	0,8917	0,334	5,8	0,9260	0,185
1,05	0,9803	0,934	3	0,8930	0,325	5,9	0,9269	0,183
1,10	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,316	6	0,9277	0,180
1,15	0,9517	0,830	3,2	0,8957,	0,307	6,1	0,9286	0,177
1,20	0,9407	0,787	3,3	0,8970	0,299	6,2	0,9294	0,175
1,25	0,9314	0,780	3,4	0,8984	0,292	6,3	0,9302	0,172
1,30	0,9236	0,716	3,5	0,8997	0,285	6,4	0,9310	0,170
1,35	0,9170	0,687	3,6	0,9011	0,278	6,5	0,9316	0,168
1,40	0,9114	0,660	3,7	0,9035	0,272	6,6	0,9326	0,166
1,45	0,9067	0,635	3,8	0,9038	0,266	6,7	0,9333	0,163
1,50	1,9027	0,613	3,9	0,9051	0,260	6,8	0,9340	0,161
1,55	0,8994	0,593	4	0,9064	0,254	6,9	0,9347	0,156
1,60	0,8966	0,574	4,1	0,9077	0,249			

Annexe tab.2

$n \backslash \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.94947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}