

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
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/ / / / /



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 : Science et Technologie
Filière : Electromécanique
Spécialité : Maintenance Industrielle

**Optimisation de la maintenance préventive de l'étage 220kV
du poste de transformation électrique HTB (au sein du poste de
transformation de STE Ghardaïa)**

Présenté par :

BOUGUENNA Fouad

BEN HAMMADI Abderrazak

Soutenue publiquement le : 04/06/2024

Devant le jury composé de :

BENDAOUI Messaoud	MCB	Université GHARDAIA	Président
MERZOUG Hocine	MAA	Université GHARDAIA	Encadreur
BELAGHIT Abdelhakem	MAB	Université GHARDAIA	Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Nous remercions notre gratitude envers **Allah** avant tout, pour son aide, ses innombrables dons. C'est grâce à **Allah** que nous avons acquis la force, la connaissance, la détermination et le moral nécessaires pour finir nos études.

Nous remercions sincèrement notre encadreur **M. MERZOUG Hocine** pour ses aides, sa gentillesse, ses encouragements et ses conseils précieux pendant la durée de l'accomplissement de ce travail.

Et aussi nous remercions **Mr. OULED BOUDJEMAA Abdallah** pour son aide au cours de notre formation à SONELGAZ transport d'électricité.

Nous souhaitons également remercions tous les membres du jury qui nous avons fait l'honneur en acceptant d'examiner ce travail.

Nous remercions également tous les enseignants du département d'automatique et électromécanique qui nous ont guidés avec leurs compétences et leur enseignement.

Enfin nous exprimons notre très grande reconnaissance à notre famille à nos proches pour nous avoir encouragés.

Dédicace

Ce travail modeste est dédié :

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur soutien et leurs prières tout au long de ma vie scolaire.

A mes chers frères Mounir et Ilyes pour leurs encouragements et leur soutien moral.

A tous les membres de ma famille.

A tous mes amis proches.

A tous mes collègues de l'Université de Ghardaïa.

A tous ceux qui m'ont enseigné tout au long de ma vie scolaire.

BOUGUENNA Fouad

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A ma mère, celle qui m'a encouragé en ouvrant ses bras
dans les sombres moments.*

A mon père, celui qui fait le plus brave des pères.

A mes chères sœurs.

A mon meilleur frère dans le monde Ismail.

A tous mes amis proches.

BEN HAMMADI Abderrazak

Résumé :

Pendant ce travail, nous avons **optimisé** la maintenance préventive de l'étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB appartenant à STE Ghardaïa.

Dans cette étude, nous focalisons sur les temps de défaillance de l'étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB Ghardaïa. Nous avons étudié le comportement du système quantitativement et qualitativement via l'analyse des temps d'arrêt provoqués par les pannes en utilisant trois méthodes différentes et efficaces : la méthode ABC (courbe de Pareto), l'analyse FMD (loi de Weibull) et la méthode AMDEC. Notre objectif de cette étude était de réduire les temps d'arrêt involontaire et de maximiser le temps de bon fonctionnement **optimal**.

Mots clés : Etage 220 kV, Maintenance, défaillances, méthode ABC, AMDEC et FMD.

ملخص :

خلال هذا العمل، قمنا بتحسين الصيانة الوقائية لمرحلة 220 كيلو فولت من محطة المحولات الكهربائية HTB التابعة لشركة STE غرداية.

نركز في هذه الدراسة على أوقات فشل مرحلة 220 كيلو فولت بمحطة المحولات الكهربائية HTB غرداية. قمنا بدراسة سلوك النظام كمياً ونوعياً من خلال تحليل فترات التوقف الناتجة عن الأعطال باستخدام ثلاث طرق مختلفة وفعالة: طريقة ABC (منحنى باريتو)، تحليل FMD (قانون ويبول) وطريقة AMDEC. كان هدفنا من هذه الدراسة هو تقليل وقت التوقف غير المقصود وزيادة وقت التشغيل الأمثل.

الكلمات المفتاحية: مرحلة 220 كيلو فولت، الصيانة، الأعطال، طريقة ABC، AMDEC و FMD.

Abstract :

During this work, we optimized the preventive maintenance of the 220 kV stage of the high-voltage electrical substation owned by STE Ghardaïa. In this study, we focused on the failure times of the 220 kV stage of the Ghardaïa high-voltage electrical substation.

We analysed the system's behaviour both quantitatively and qualitatively by examining downtime caused by failures using three different and effective methods: the ABC method (Pareto curve), FMD analysis (Weibull distribution), and the FMEA method. Our goal for this study was to reduce unplanned downtime and maximize optimal operating time.

Keywords: 220 kV stage, Maintenance, failures, ABC method, FMEA, and FMD.

Table des matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Résumé	IV
Table des matières.....	V
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations	X
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise.....	4
I.1 Introduction	4
I.2 : Présentation SONELGAZ	4
I.3 Evolution et histoire de SONELGAZ	4
I.4 Présentation de la société algérienne SONELGAZ transport de l'électricité	9
I.4.1 Organisation de SONELGAZ transport de l'électricité	10
I.4.2 STE poste Ghardaïa	11
Chapitre II : Généralité sur le réseau électrique HTB notamment l'étage 220kV.....	17
II.1 Introduction	17
II.2 Définition	17
II.3 Historique de réseaux électrique	18
II.4 Structure générale d'un réseau électrique	19
II.4.1 La production de l'électricité	19
II.4.2 Transport de l'électricité	19
II.4.3 Répartition de l'électricité	20
II.4.4 Distribution de l'électricité	20
II.5 Les niveaux de tension des réseaux	21
II.6 Topologie et structure des réseaux électriques	23
II.7 Les anomalies dans un réseau électrique	24
II.7.1 Court-circuit	24
II.7.2 Surcharge électrique	25
II.7.3 Une surtension	25
II.7.4 Mauvaise mise à la terre	25
II.7.5 Câbles électriques défectueux	25
II.8 Généralité sur les postes électriques	26
II.8.1 Introduction	26
II.8.2 Types des postes	26
II.8.3 Les différents éléments de poste électrique	27

II.9 Étage 220 KV du poste de transformation électrique HTB	28
II.9.1 Définition	28
II.9.2 Fonctionnement de l'étage 220KV	28
II.9.3 Les éléments constituant le poste de transformation	29
II.9.4 Sécurité et protections	34
II.9.5 Contrôle et surveillance	35
II.9.6 Avantages et inconvénients de l'étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB	36
II.10 Conclusion	36
Chapitre III : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse	39
III.1 Introduction	39
III.2 généralité sur la maintenance industrielle	39
III.2.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306).....	39
III.2.2 objectifs de la maintenance	39
III.2.3 La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)	40
III.2.4 Niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)	40
III.2.5 Types de maintenance	41
III.3 Différentes méthodes d'analyse utilisées en maintenance	45
III.3.1 Méthode ABC ou courbe de Pareto	45
III.3.2 La méthode AMDEC	47
III.3.3 Diagramme Ishikawa ou 5M	49
III.3.4 La méthode QQQQCP	51
III.3.5 Arbre de défaillances	53
III.3.6 Concept FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)	54
IV.4 Conclusion	60
Chapitre IV : Application des outils d'analyse sur les données de l'entreprise	62
IV.1 Introduction	62
IV.2 Historique des pannes de l'étage 220KV	62
IV.3 Application des méthodes d'analyse	64
IV.3.1 Application de la méthode de la courbe ABC (loi de Pareto)	64
IV.3.2 Analyse FMD	67
IV.3.3 Application de La méthode AMDEC	82
V.4 Conclusion	87
Conclusion générale	88
BIBLIOGRAPHIE	90
LES ANNEXES	93

Liste des figures :

Chapitre I

Figure I-1 : Les régions de transport de l'électricité	10
Figure I-2 : Organigramme générale de STE	11
Figure I-3 : Plan de situation de poste de Ghardaïa.....	13
Figure I-4 : Plan de masse du poste STE Ghardaïa	13
Figure I-5 : Carte réseau de la wilaya de GHARDAIA.....	14
Figure I-6 : Schéma unifilaire du poste étage 220/60 kV	14
Figure I-7 : Schéma unifilaire du poste Ghardaïa étage 60/30 kV	15

Chapitre II

Figure II-1 : Le réseaux électrique	18
Figure II-2 : Structure générale d'un réseau électrique.....	19
Figure II-3 : Schéma de description des réseaux électrique	20
Figure II-4 : Architecture générale d'un réseau d'énergies électrique	21
Figure II-5 : Différents type de niveau de réseaux	22
Figure II-6 : structure des réseaux électriques.....	24
Figure II-7 : Les différents éléments de poste électrique	27
Figure II-8 : Etage 220 KV d'un poste de transformation électrique.....	28
Figure II-9 : Disjoncteur haute tension.....	29
Figure II-10 : Sectionner de barre	30
Figure II-11 : Sectionner de ligne et mise à la terre	30
Figure II-12 : Jeu de barre	31
Figure II-13 : Transformateur de puissance	32
Figure II-14 : Transformateur de courant.....	33
Figure II-15 : Transformateurs de tension.....	34
Figure II-16 : Contrôle d'étage 220 KV du poste Ghardaïa.....	35

Chapitre III

Figure III-1 : Les différents types de maintenance.....	42
Figure III-2 : courbe de Pareto	46
Figure III-3 : les étapes de l'AMDEC	49
Figure III-4 : Diagramme de Ishikawa	50
Figure III-5 : Les 5M.....	51
Figure III-6 : Les question du QQQQCP	52
Figure III-7 : Relation FMD	59
Figure III-8 : Les temps de maintenance.....	59

Chapitre IV

Figure IV-1 : La courbe d'ABC (courbe de Pareto).....	66
Figure IV-2 : Graphe de Weibull.....	68
Figure IV-3 : La densité de probabilité $f(t)$ en fonction de TBF	72
Figure IV-4 : La fonction de répartition $F(t)$ en fonction de TBF	73
Figure IV-5 : Fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction de TBF	75
Figure IV-6 : La fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction de TBF	77
Figure IV-7 : La fonction de la maintenabilité $M(t)$ en fonction de TTR	79
Figure IV-8 : La fonction de la disponibilité instantanée en fonction de TTR.....	81

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 : Constitution du poste STE Ghardaïa	12
--	----

Chapitre II

Tableau II-1 : Domaines de tension.....	23
---	----

Chapitre III

Tableau III-1 : Les niveaux de la maintenance	40
Tableau III-2 : Syntaxe des arbres de défaillances	54

Chapitre IV

Tableau IV-1 : Historique des pannes	62
Tableau IV-2 : Analyse ABC (Pareto)	64
Tableau IV-3 : Estimation de la fonction de répartition.....	67
Tableau IV-4 : Les paramètres de la loi Weibull.....	69
Tableau IV-5 : Calcul de l'écart entre $F(t)$ et $F_e(t)$	69
Tableau IV-6 : La densité de probabilité $f(t)$	71
Tableau IV-7 : La fonction de répartition $F(t)$	72
Tableau IV-8 : La fonction de fiabilité $R(t)$	74
Tableau IV-9 : La fonction du taux de défaillance $\lambda(t)$	76
Tableau IV-10 : Le calcul de la maintenabilité	78
Tableau IV-11 : Le calcul de la disponibilité instantanée	80
Tableau IV-12 : Niveaux de criticité	82
Tableau IV-13 : L'analyse par méthode AMDEC	83

Liste des abréviations :

STE : SONELGAZ-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.

CB : circuit bouchon.

AC : Courant alternatif.

DC : Courant continu.

TC : Transformateur de courant.

TP/TT : Transformateur de tension (potentielle).

CEI : La Commission Electrotechnique Internationale.

AFNOR : Association française de normalisation.

NF : Norme Française.

EN : Européen Norme.

MTBF : Mean Time Between Failures (c'est la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances).

MTTR : Mean Time To Repair (c'est le temps moyen mis pour réparer le système).

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

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.

Di : disponibilité intrinsèque.

HRM : Hassi R'Mel

MTL : Metlili

ORG : Ouargla

Introduction générale

Au cours du XXe siècle, l'électricité est progressivement devenue le principal moyen de génération d'énergie dans la plupart des secteurs domestiques et industriels. Les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique, qui sont des supports incontournables de cette énergie, présentent actuellement un défi économique et technologique important. Ils jouent un rôle essentiel dans le développement et l'évolution des sociétés humaines, à la fois dans l'amélioration des conditions de vie et dans le développement des activités industrielles. Ils sont chargés de fournir aux utilisateurs un produit électrique de haute qualité et de sécurité à un prix raisonnable.

Le réseau électrique HTB joue un rôle crucial dans la distribution d'électricité à grande échelle. La fiabilité et la performance de ce réseau dépendent en grande partie du bon fonctionnement des postes de transformation, et plus particulièrement de l'étage 220kV, qui est un élément vital pour la transmission d'énergie.

La maintenance préventive est une stratégie essentielle pour garantir la pérennité et la sécurité de l'étage 220kV. Elle vise à prévenir les pannes et les défaillances en anticipant les interventions et en s'assurant du bon état des équipements.

Nous avons assisté au stage pratique de fin d'études dans l'entreprise SONELGAZ transport de l'électricité (STE) en traçant les objectifs suivants :

- Améliorer la fiabilité et la sécurité du réseau électrique.
- Réduire les coûts de maintenance.
- Améliorer la performance du réseau électrique.
- Prolonger la durée de vie du poste de transformation.

Afin d'aider les dirigeants l'entreprise à définir une meilleure politique de maintenance, notamment la maintenance préventive, nous proposons des suggestions et des recommandations basées sur les résultats de notre étude.

Notre étude porte sur l'optimisation de la maintenance préventive de l'étage 220kV du poste de transformation électrique HTB de Ghardaïa, qui sera présenté clairement dans ce mémoire structuré comme suit :

Introduction générale

- ✓ **Chapitre 01** : Présentation de l'entreprise.
- ✓ **Chapitre 02** : Généralité sur le réseau électrique HTB notamment l'étage 220kV.
- ✓ **Chapitre 03** : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse.
- ✓ **Chapitre 04** : Application des outils d'analyse sur les données de l'entreprise.

À la fin de cette étude, nous allons résumer et interprété tous les résultats obtenus dans la conclusion générale.

CHAPITRE I :

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1 Introduction :

L'électricité est un produit énergétique essentiel pour la vie quotidienne et l'industrie moderne. Elle est produite à partir de diverses sources d'énergie.

SONELGAZ est responsable de la production, du transport et de la distribution de l'électricité, étant le seul spécialiste en Algérie dans ce domaine.

I.2 : Présentation SONELGAZ :

SONELGAZ est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électrique et gazière en Algérie. Créée en 1969, SONELGAZ, œuvre depuis un demi-siècle au service du citoyen algérien en lui apportant cette source énergétique essentielle à la vie quotidienne.

A la faveur de la promulgation de la loi sur l'électricité et la distribution du gaz par canalisations, SONELGAZ est passée d'une entreprise verticalement intégrée à une holding pilotant un Groupe industriel multi-sociétés et multi-métiers.

SONELGAZ a toujours joué un rôle majeur dans le développement économique et social du pays. Sa contribution dans la concrétisation de la politique énergétique nationale est à la mesure des importants programmes réalisés, en matière d'électrification rurale et de distribution publique gaz ; ce qui a permis de hisser le taux de couverture en électricité à 99% pour 11 461 721 clients et un taux de pénétration du gaz à 65% pour 7 308 462 clients. Aujourd'hui, le groupe SONELGAZ est composé de 11 sociétés filiales, gérées directement par la holding et de 10 sociétés en participations avec des tiers. [1]

I.3 Evolution et histoire de SONELGAZ :

❖ Les débuts de l'électricité en Algérie :

Les débuts de l'électrification en Algérie remontent au début du 20^e siècle, lorsque 16 entreprises étaient responsables de la distribution d'électricité dans le pays. Le groupe Lebon (Compagnie Centrale d'éclairage par le Gaz) et la Société algérienne d'éclairage et de force (SAEF) étaient parmi ces entreprises, exploitant principalement les régions du centre et de l'ouest, la Compagnie Du Bourbonnais à l'est, ainsi que les usines Lévy à Constantine.

Toutefois, grâce à un décret datant du 16 août 1947, ces 16 entreprises concessionnaires ont été transférées à EGA (Entreprise de Gestion des Activités Énergétiques). À cette époque,

ces entreprises détenaient 90% des installations industrielles liées à l'électricité et au gaz dans le pays.

❖ **1969 Création de SONELGAZ :**

La dissolution de l'établissement public d'Electricité et Gaz d'Algérie (EGA), qui a été créé suite aux lois de nationalisation françaises de 1947, est définie par l'ordonnance N°69-59 du 28 juillet 1969, qui établit les statuts de la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (SONELGAZ).

En 1969, SONELGAZ était déjà une entreprise de grande taille, employant environ 6000 personnes et offrant ses services à 700 000 clients. Dès sa fondation, l'entreprise s'est investie non seulement dans la distribution d'énergie, mais également dans l'installation et la maintenance d'appareils électriques ou fonctionnant au gaz pour les particuliers.

SONELGAZ a également pris l'engagement de promouvoir l'usage du gaz naturel et de l'électricité dans les domaines industriel, artisanal et domestique.

❖ **1983 Première restructuration : naissance des filiales travaux :**

SONELGAZ a procédé à une première restructuration qui a abouti à la création de cinq (05) entreprises spécialisées dans les travaux, ainsi qu'une entreprise de fabrication :

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

Les infrastructures électriques et gazières actuelles de SONELGAZ ont été rendues possibles grâce à ces sociétés, qui ont su répondre aux exigences du développement économique et social du pays.

❖ **1991 Un nouveau statut pour SONELGAZ :**

En 1991, SONELGAZ est transformée en Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC). Cette évolution est confirmée par le décret exécutif N° 95-280 du 17

septembre 1995, qui établit clairement que SONELGAZ est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial placé sous la tutelle du Ministre chargé de l'énergie et des mines. De plus, SONELGAZ bénéficie de la personnalité morale et jouit d'une autonomie financière.

❖ **2002 La transformation en SPA :**

Après la mise en place de la loi N°02/01 du 5 février 2002 concernant la distribution d'électricité et de gaz par canalisations, SONELGAZ est transformée en Société Algérienne de l'Electricité et du Gaz, une Société par Actions (SPA).

Grâce à ce statut, il a la possibilité d'étendre ses activités à d'autres secteurs liés à l'énergie et d'intervenir en dehors de l'Algérie.

En qualité de SPA, il est nécessaire qu'elle possède un portefeuille d'actions et d'autres titres et qu'elle puisse prendre des participations dans d'autres entreprises.

Cela préfigure le changement de 2004 où SONELGAZ se transforme en un Groupe Industriel.

❖ **2004 - 2006 Le Groupe SONELGAZ :**

En 2004, SONELGAZ se transforme en une holding de compagnies. Il est donc nécessaire de créer des filiales pour certaines de ses entités responsables de ses principales activités, qui sont chargées de réaliser ces activités spécifiques :

- Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE).
- Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (GRTE).
- Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz (GRTG)

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

- Opérateur du Système Electrique (OS), chargé de la conduite du système Production /Transport de l'électricité.
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger (SDA).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre (SDC).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Est (SDE).
- Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Ouest (SDO).

Au cours de cette même année, les cinq (05) sociétés spécialisées dans les travaux ont été réintégrées dans le groupe.

En plus de cette transformation, la mission principale de SONELGAZ reste de garantir le service public, ce qui est à la base de sa culture d'entreprise.

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

Le Groupe SONELGAZ s'est engagé à réorganiser pour améliorer son développement ces dernières années, avec pour objectif de renforcer la qualité du service à la clientèle. Un projet développé au sein de l'entreprise, qui a conduit à la finalisation de son organisation en un Groupe Industriel (maison mère / filiales) composé de trente-trois (33) filiales et de six (06) sociétés en participation directe.

❖ **2011 - Amendement des statuts de SONELGAZ :**

Le lundi 2 mai 2011, le conseil des Ministres a révisé et approuvé les statuts de SONELGAZ, qui ont été adoptés en 2002. Ainsi, ils sont maintenant en accord avec le dispositif de la loi N°02 - 01 du 5 février 2002 concernant l'électricité et la distribution du gaz par canalisations.

Désormais, SONELGAZ. Spa est organisée en "société holding" sans création d'une personne morale nouvelle et prend la dénomination de SONELGAZ. Par ailleurs, la société holding SONELGAZ et ses sociétés filiales forment un ensemble dénommé "Groupe SONELGAZ".

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

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

❖ **2012 Nouvel essor, Nouveau cap : les énergies renouvelables :**

En tant que leader dans ce domaine, SONELGAZ a déjà réussi à fournir de l'électricité à 18 villages éloignés du Grand Sud entre 1998 et 2001. Afin d'aider à préserver l'environnement en diminuant les émissions de gaz à effet de serre de ses centrales à combustibles fossiles, SONELGAZ a également fait des investissements dans une autre source d'énergie renouvelable, à savoir l'énergie éolienne. La construction d'une centrale éolienne d'une puissance de 10 MW a eu lieu à Kaberten, dans la wilaya d'Adrar.

❖ 2014-2015 : Le partenariat au cœur du développement :

En 2014, SONELGAZ s'est associé à General Electric afin de fonder une entreprise nommée GEAT (General Electric Algérie Turbines). La construction et l'exploitation d'un complexe industriel à Ain Yagout (wilaya de Batna) ont été confiées à cette entreprise, dans le but de fabriquer des turbines à gaz (TG) et des turbines à vapeur (TV). SONELGAZ a aussi mis en place des collaborations avec Hyundai et Daewoo, ce qui a abouti à la fondation de l'entreprise HYENCO.

❖ 2017 Une nouvelle organisation de la Distribution :

En 2017, une réorganisation supplémentaire a été instaurée afin d'améliorer encore plus l'efficacité des entreprises au sein du Groupe. Après la fusion-absorption des sociétés de distribution SDE, SDO et SDA, la Société de Distribution de l'Électricité et du Gaz (SDC) a été fondée.

❖ 2020-2021 : Une nouvelle stratégie pour de nouveaux horizons :

Le Groupe SONELGAZ a adopté un nouveau plan stratégique ambitieux appelé SONELGAZ 2035. Ce plan vise à recentrer les missions de SONELGAZ en tant qu'acteur majeur du secteur énergétique, dont la principale mission est de fournir une énergie fiable et responsable. Ce plan stratégique, qui marque les étapes clés de la stratégie, se concrétise par :

1. Niveau Groupe :

Au niveau du Groupe, une nouvelle structure a été mise en place, comprenant deux holdings entièrement détenus par la société-mère SONELGAZ :

Une holding Engineering et Construction, qui aura une autorité hiérarchique sur les sociétés travaux et engineering CEEG, HYENCO, KAHRIF, KAHRAKIB, KANAGHAZ, ETTERKIB, INERGA et TRANSMEX.

Une holding Industries, qui exercera une autorité hiérarchique sur les sociétés MEI, AMC, Rouïba Eclairage, VIJAI, BHI, SEDIVER et GEAT.

De plus, une seule société de sécurité et de surveillance, la SWAT, sera maintenue en fusionnant et absorbant les trois autres sociétés SAR, SAT et SAH.

2. Niveau Holding :

Les pôles d'activités seront transformés en directions exécutives, auxquelles seront fonctionnellement rattachées les sociétés regroupées par métier et activité au sein du Groupe SONELGAZ. Voici les principales directions exécutives :

- Direction Exécutive Production Conventiionnelle et Energies Renouvelables.
- Direction Exécutive Transport et Distribution d'Energies.
- Direction Exécutive des Activités de Services.

De plus, un Secrétariat Général (SG) sera créé, responsable des activités de communication, du patrimoine, des prestations, des affaires juridiques, de la sûreté interne, de la santé, de la sécurité et de l'environnement.

Également, une Direction Centrale sera mise en place pour le pilotage de la performance et le contrôle de gestion (DCG).

Une Direction des Affaires Juridiques (DAJ) sera créée, ainsi qu'une Direction Centrale du Développement à l'International (DDI). [2]

I.4 Présentation de la société algérienne SONELGAZ transport de l'électricité :

Sa mission consiste à assurer l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de transport de l'électricité, en conformité avec la législation, la réglementation en vigueur et les dispositions de la loi N°02-01 du 05/02/2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations. Son objectif est de garantir une capacité adéquate pour répondre aux besoins de transit et de réserve.

Le réseau de transport de l'électricité, considéré comme le pilier de la transition énergétique, est défini comme un ensemble comprenant des lignes aériennes, des câbles souterrains, des interconnexions internationales, des postes de transformation ainsi que leurs équipements de téléconduite et de télécommunication, ainsi que les équipements de contrôle, de commande et de mesure nécessaires à la transmission de l'électricité vers les clients, les producteurs et les distributeurs, ainsi qu'à l'interconnexion entre les centrales électriques et le réseau électrique.

SONELGAZ Transport de l'Électricité opère à travers des agences centrales et six (06) régions de Transport de l'Électricité, à savoir Alger, Centre, Oran, Sétif, Annaba et Hassi Messaoud. De plus, elle dispose de 24 services de transport répartis à travers tout le pays,

garantissant ainsi une assistance personnalisée et une relation directe avec les clients. Les régions de transport de l'électricité sont illustrées dans la figure (I-1).



Figure I-1 : Les régions de transport de l'électricité

SONELGAZ transport d'électricité exploite un réseau composé 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. [3]

I.4.1 Organisation de SONELGAZ transport de l'électricité :

SONELGAZ est responsable de la gestion des opérations de transport d'électricité en utilisant les directions centrales et régionales de transport d'électricité.

La Figure ci-dessous (I-2) présente l'organisation globale de la Société STE.

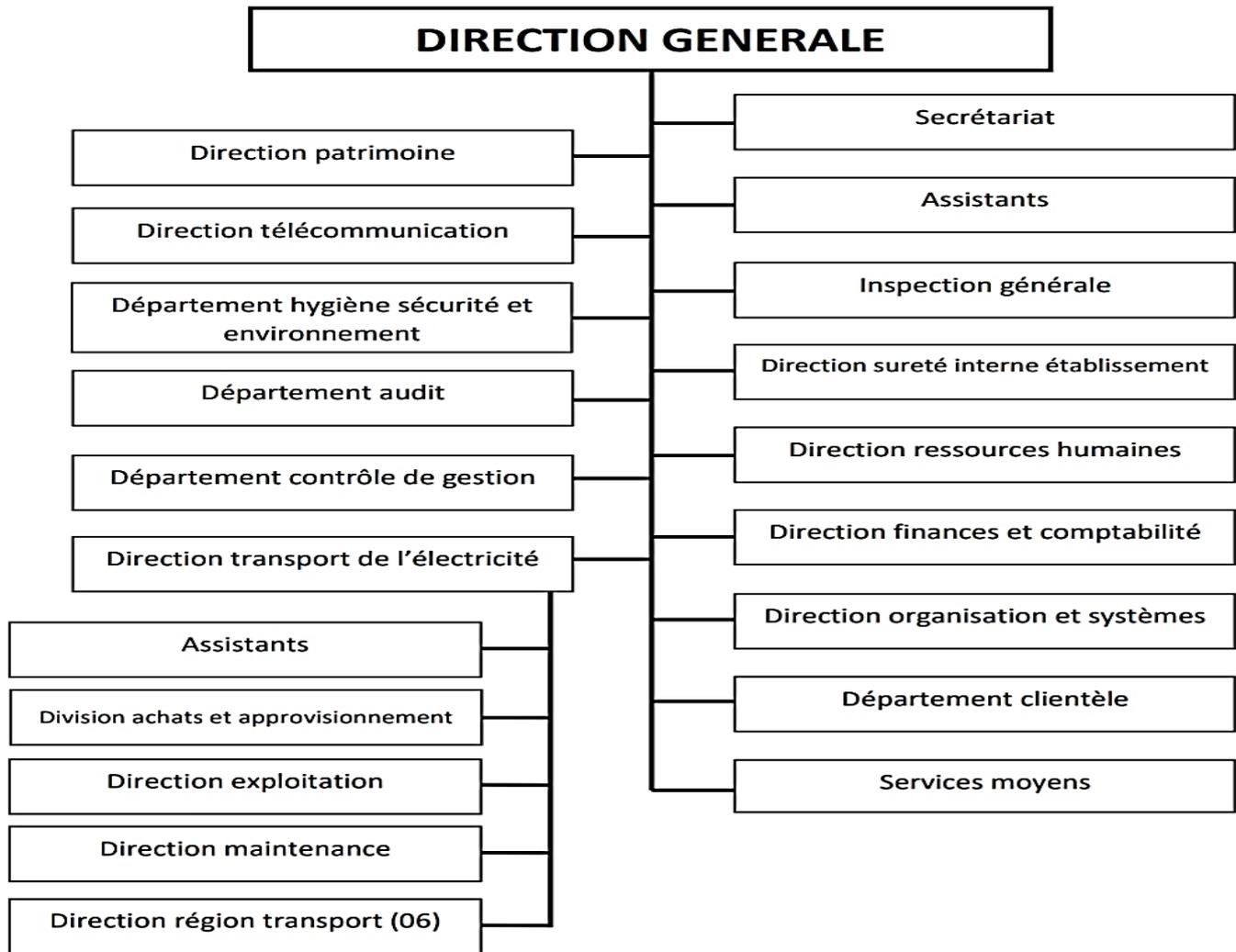


Figure I-2 : Organigramme générale de STE

I.4.2 STE poste Ghardaïa :

Le poste de transformation THT/HTB/MT 220/60/30 kV est localisé à Bouhraoua wilaya de Ghardaïa et s'étend sur une superficie de 4.12 hectares. La société KAHRAKIB (entreprise nationale de travaux et montage électrique) occupe ce poste en février 2001 et commence à être exploitée à partir du 02 octobre 2002. Grâce à ce projet, la fiabilité de l'approvisionnement en électricité de la région de Ghardaïa a été renforcée, répondant aux besoins des clients résidentiels, agricoles et industriels. En outre, cela aidera à consolider la connexion du réseau 220 kV entre Hassi Messaoud et le nord du pays.

Il contient :

Tableau I-1 : Constitution du poste STE Ghardaïa [4]

Etage 220 KV	01 jeux de barre 220 kV 3000 A.
	04 travées ligne 220 kV.
	02 transformateurs 220/60/10.5 kV.
	01 travée de sectionnement de barre.
Etage 60 KV	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.
Etage 30 KV	02 cellules arrivées transformateur.
	01 cellule couplage 30 kV.
	14 cellules de départs 30 kV.
	01 jeux de barre 30 kV.
Infrastructure	02 bâtiments de commande THT/HTB annexes auxiliaires.
	01 bâtiment de commande 30 kV et auxiliaires.
	02 sales batteries.
	01 local pour groupe électrogène de secours.
	08 bâtiments de reliage.

I.4.2.1 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

I.4.2.2 Plan de situation poste 220/60/30kV :

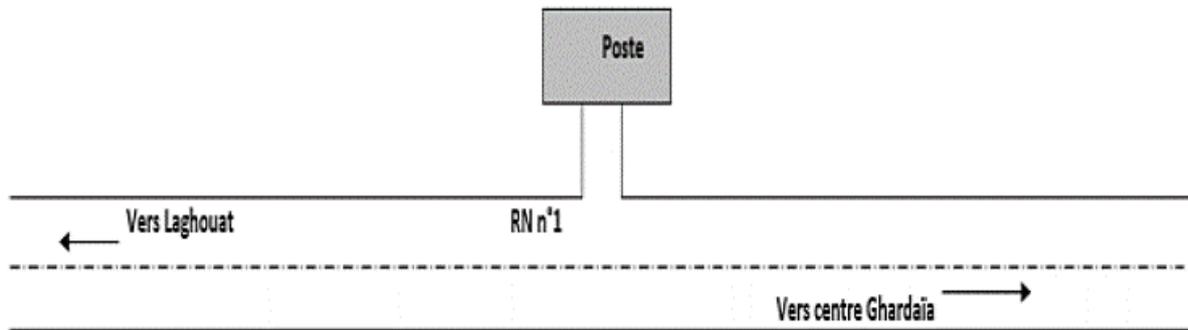


Figure I-3 : Plan de situation de poste de Ghardaïa

I.4.2.3 Plan de masse du poste :

Le Plan de masse du poste STE Ghardaïa est illustré dans la figure ci-dessous :

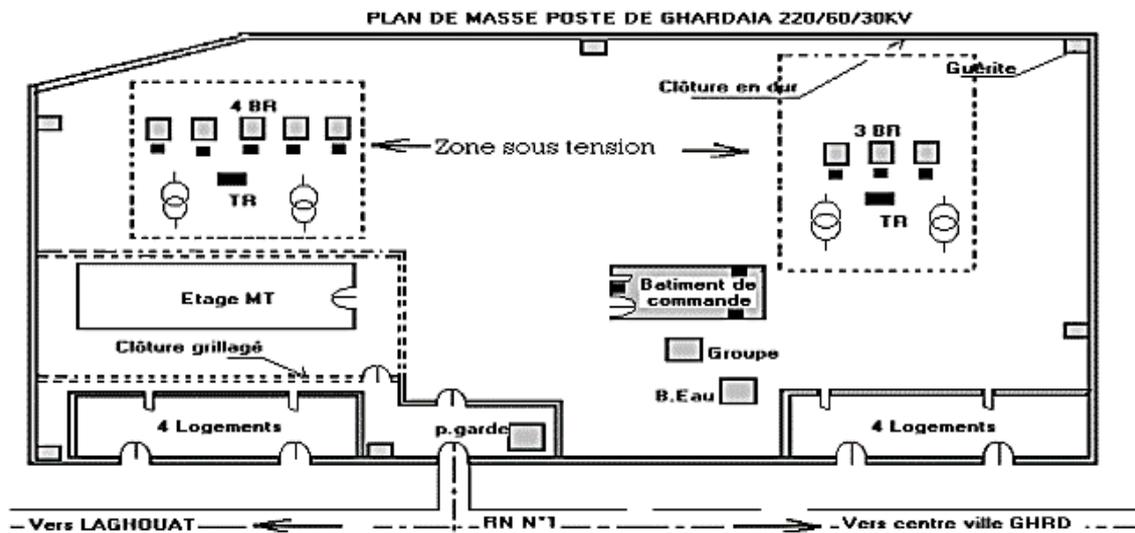


Figure I-4 : Plan de masse du poste STE Ghardaïa

I.4.2.4 Carte réseau de la wilaya de GHARDAIA :

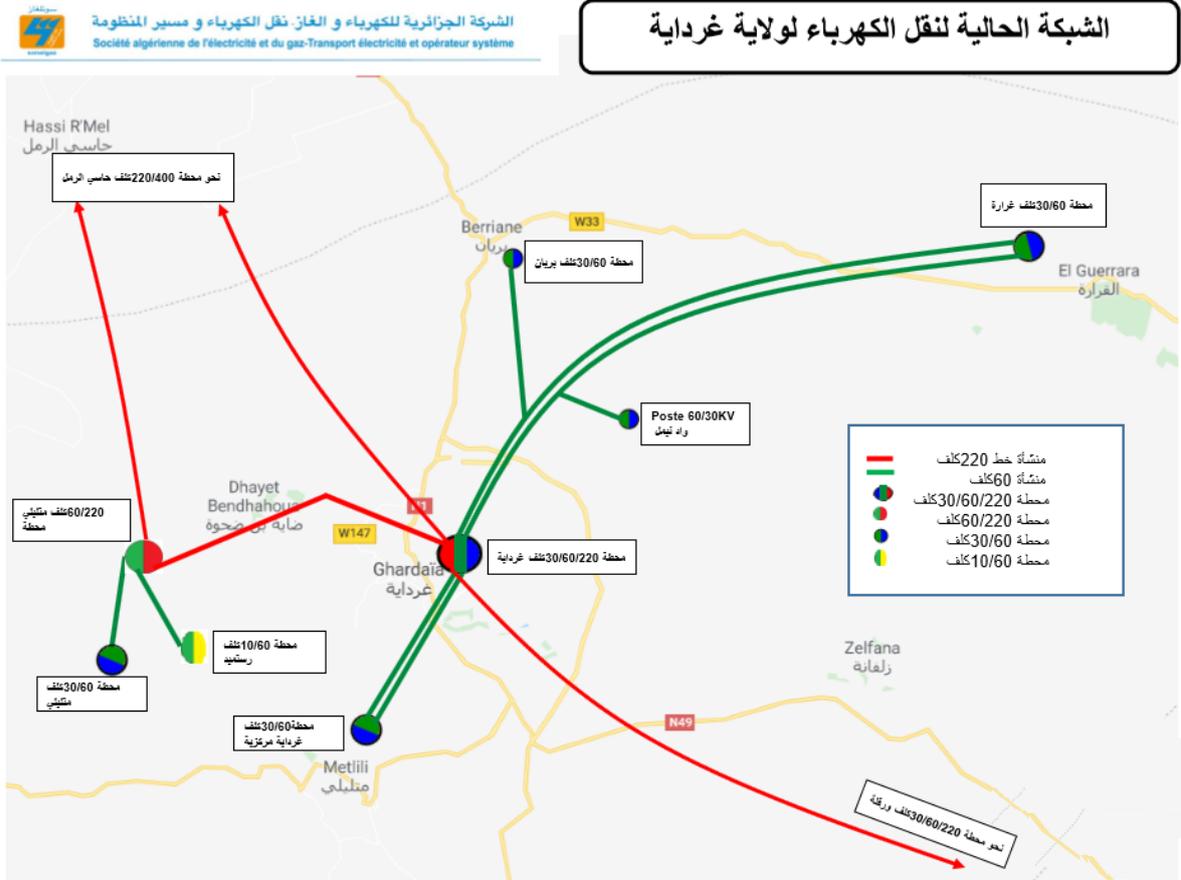


Figure I-5 : Carte réseau de la wilaya de GHARDAÏA

I.4.2.5 Schéma unifilaire du poste Ghardaïa :

Les schémas unifilaires du poste SONELGAZ de transport d'électricité Ghardaïa sont présentés dans les figures (I-6) et (I-7).

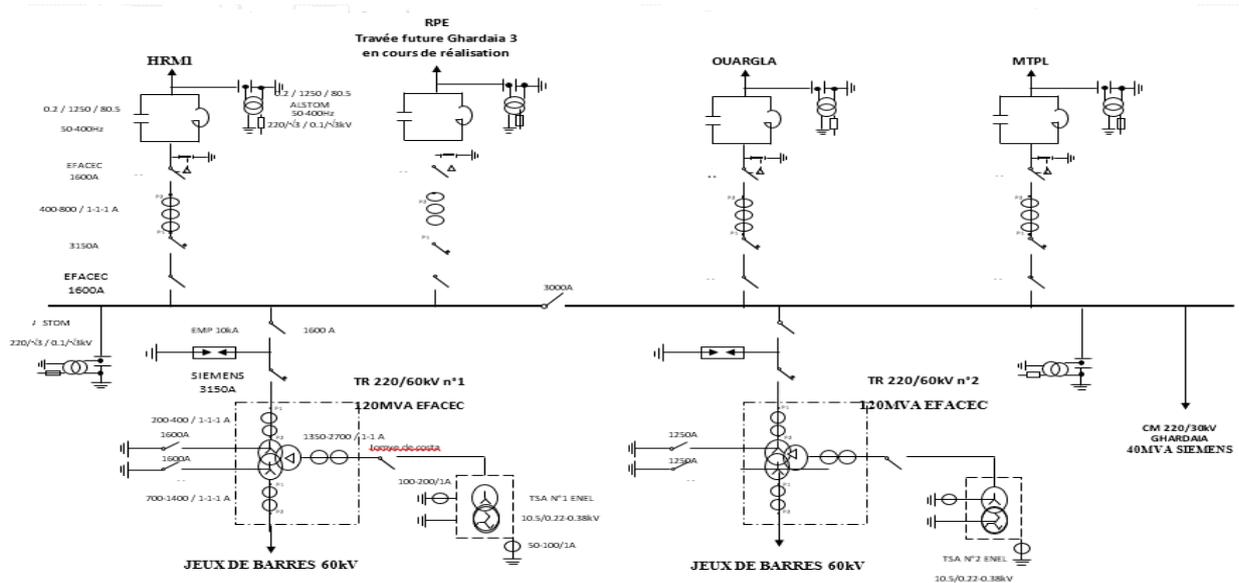


Figure I-6 : Schéma unifilaire du poste étage 220/60 kV

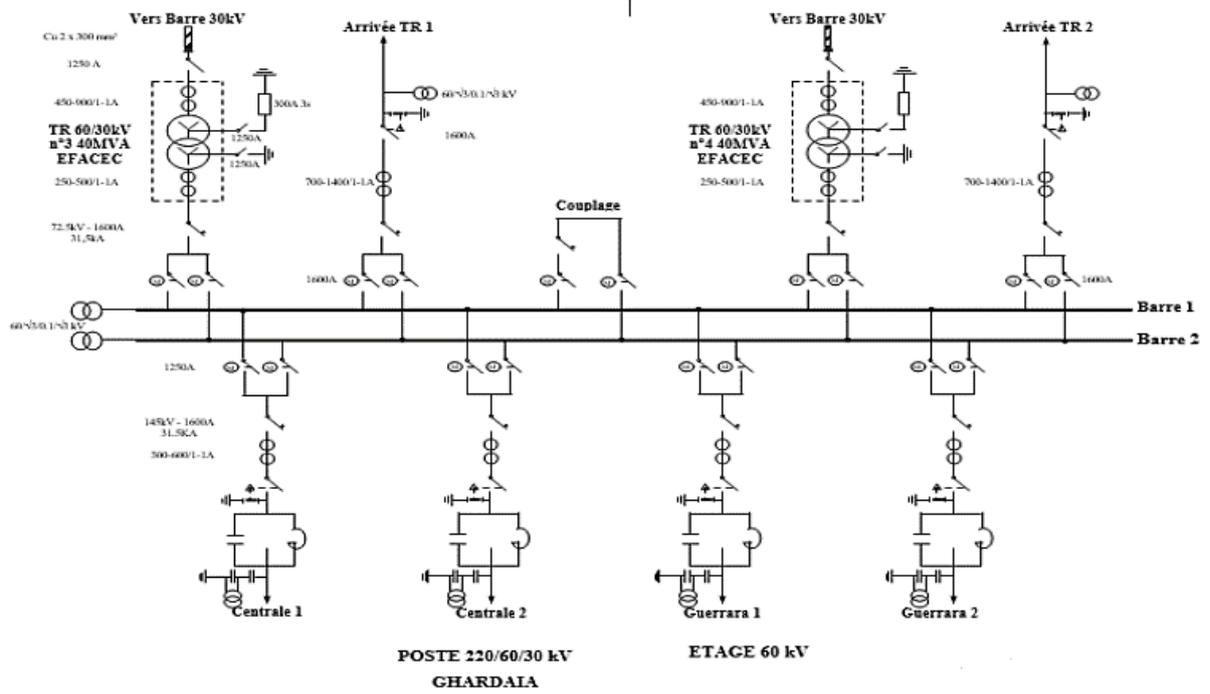


Figure I-7 : Schéma unifilaire du poste Ghardaïa étage 60/30 kV

CHAPITRE II :

GENERALITE SUR LE
RESEAU ELECTRIQUE HTB
NOTAMMENT L'ETAGE
220 kV.

Chapitre II : Généralité sur le réseau électrique HTB notamment l'étage 220kV.

II.1 Introduction :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures qui sont utilisées pour transférer l'énergie électrique des sources de production aux consommateurs finaux.

Il est constitué des lignes électriques interconnectées au sein des postes électriques et fonctionnant à diverses tensions. Grâce à l'utilisation des transformateurs, ces postes distribuent et convertissent l'électricité d'une tension à une autre.

Il est nécessaire pour un réseau électrique de maintenir une gestion dynamique des éléments de production, de transport et de distribution, en mettant en place des réglages visant à garantir la stabilité de l'ensemble.

II.2 Définition :

Un réseau, c'est d'abord un certain nombre de fonctions et de comportements d'ensemble, qu'il faut définir, mettre en œuvre, maîtriser grâce à une conception et une exploitation convenables. Ce sont ensuite des ouvrages et des matériels (lignes aériennes et souterraines, postes, câbles, appareillage, transformateurs, parafoudres, etc.) qui, assemblés, forment le réseau physique ; la qualité conditionne très largement celle du réseau, donc celle de la desserte en électricité de ses clients. C'est enfin tout un ensemble d'automatismes et de transmission d'informations et de commandes, ensemble coordonné, donc système nerveux absolument indispensable à la protection des ouvrages et des matériels, à la robustesse du réseau vis-à-vis des défaillances internes et des agressions extérieures telles la foudre et les conditions climatiques extrêmes ; système indispensable aussi à la maîtrise par l'exploitant d'un outil technique qui, pour les réseaux publics, du moins, n'est pas concentré en un site, mais couvre des milliers et des centaines de milliers de kilomètres carrés.

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production avec les centres de consommation (villes, usines...). L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité puis progressivement abaissée au niveau de la tension d'utilisateur final.

[5]

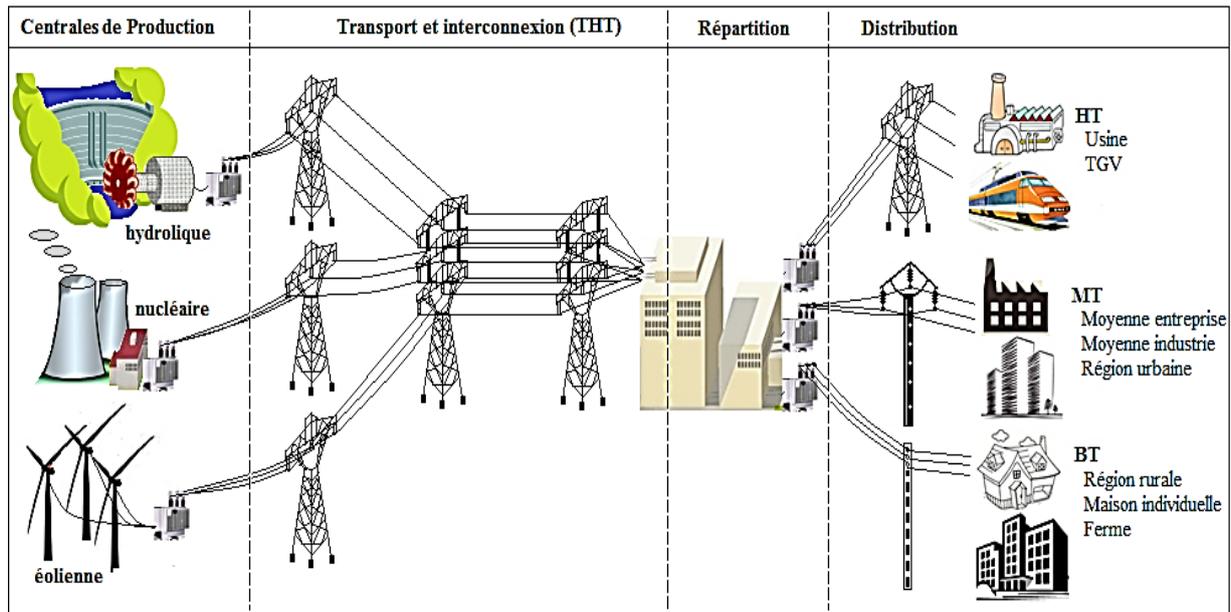


Figure II-1 : Le réseaux électrique

II.3 Historique de réseaux électrique :

XIXe siècle :

- ❖ En 1882, la première ligne électrique à haute tension a été établie entre Munich et Bad Brook.
- ❖ En 1891, le courant alternatif triphasé a été utilisé pour la première fois sur des lignes aériennes lors du Salon international de l'électricité à Francfort.
- ❖ En 1892, le Salon international de l'électricité aura une extension de sa ligne aérienne triphasée jusqu'à Heilbronn. Ainsi, cette ville est la première au monde à bénéficier de lignes aériennes longue distance pour générer de l'électricité. [6]

XXe siècle :

- ❖ La première ligne à haute tension 110 kV commence à fonctionner en 1912.
- ❖ La première ligne de 120 kV a été construite en 1921 pour desservir les aciéries de Saint-Chamond.
- ❖ Dans les années 1920, une ligne de 170 km et 160 kV est construite par l'Énergie électrique du littoral méditerranéen.
- ❖ En 1923, la ligne reçoit pour la première fois une tension de 220 kV.
- ❖ La première ligne de 380 kV commence à fonctionner en 1957.

- ❖ En 1965, Hydro-Québec lance la première ligne de 735 kV au monde au Québec (Canada).
- ❖ Dès 1967, des lignes à haute tension de 765 kV sont construites en Russie et aux États-Unis.
- ❖ En 1982, des voies ont été construites en Union soviétique, à proximité de Moscou, pour fournir un courant alternatif triphasé à 1200 kV.

XXIe siècle :

- ❖ La plus grande ligne à haute tension a été construite en 2003 dans la Chine. [6]

II.4 Structure générale d'un réseau électrique :

En général, un réseau électrique est divisé en quatre grandes parties.

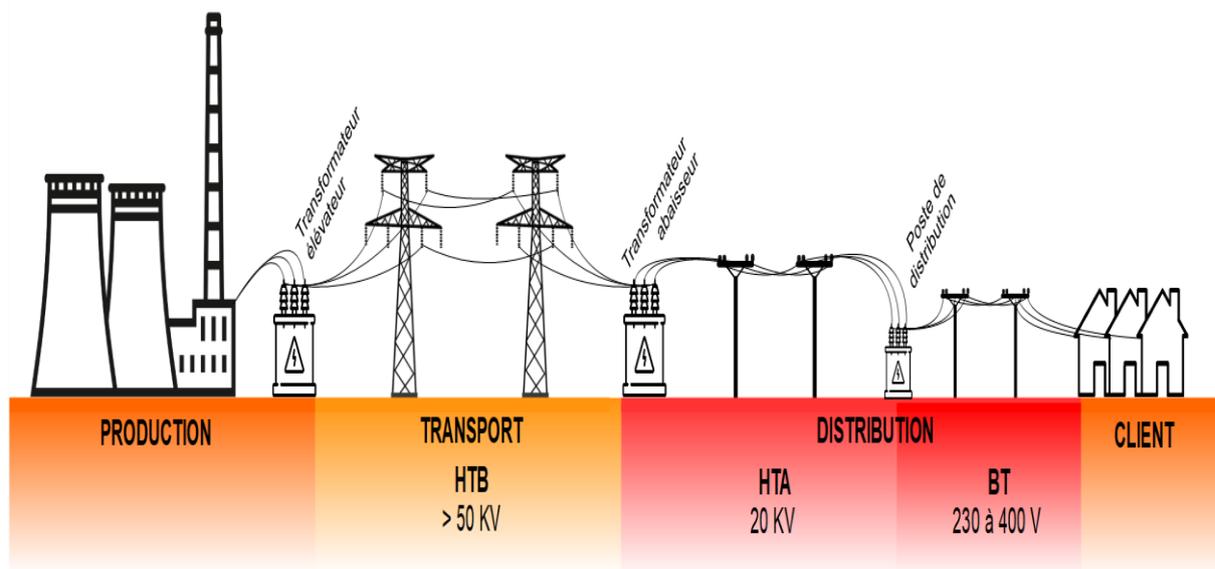


Figure II-2 : Structure générale d'un réseau électrique

II.4.1 La production de l'électricité :

Elle consiste en la génération de l'ensemble de la puissance active consommée par le réseau tout entier. En grande majorité, les tensions associées à cette production sont produites sous la forme de systèmes triphasés par l'intermédiaire d'alternateurs entraînés à partir de divers types de sources d'énergie dites « primaires ».

II.4.2 Transport de l'électricité :

Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (12 à 15 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation pour être

transmise sous haute ou très haute tension afin de réduire les pertes dans les lignes. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée, la même chose pour la puissance. Par exemple, le réseau de transport en Algérie utilise une tension de 60,90, 150 220 et 400kV (voir 400 kV pour certaines lignes d'interconnexion), le réseau européen utilise jusqu'à 400 kV, et le réseau Nord-Américain jusqu'à 735 kV. [7]

II.4.3 Répartition de l'électricité :

Le réseau de répartition prend sa source dans le réseau de transport à partir des postes d'interconnexion THT/HT(MT) et sert à fournir les gros consommateurs industriels sous haute ou moyenne tension, et à répartir les puissances dans différentes régions rurales ou urbaines.

Ce type de réseau utilise des tensions typiques de 60 kV et 30 kV.

II.4.4 Distribution de l'électricité :

La distribution sert à alimenter les consommateurs en moyenne ou en basse tension (Typiquement 400V).

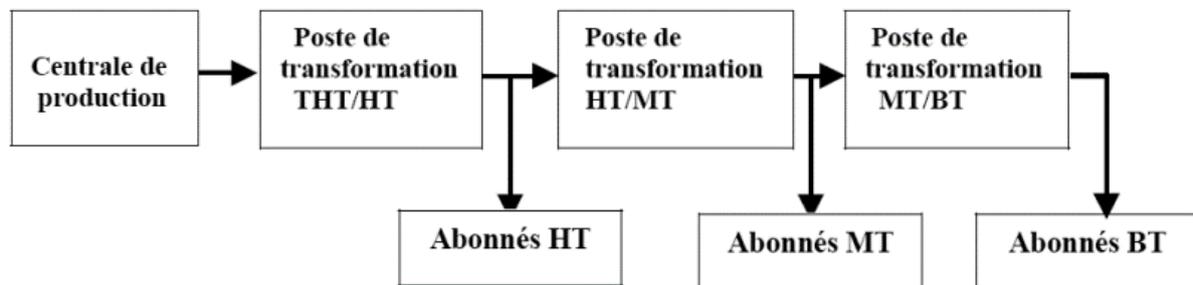


Figure II-3 : Schéma de description des réseaux électrique

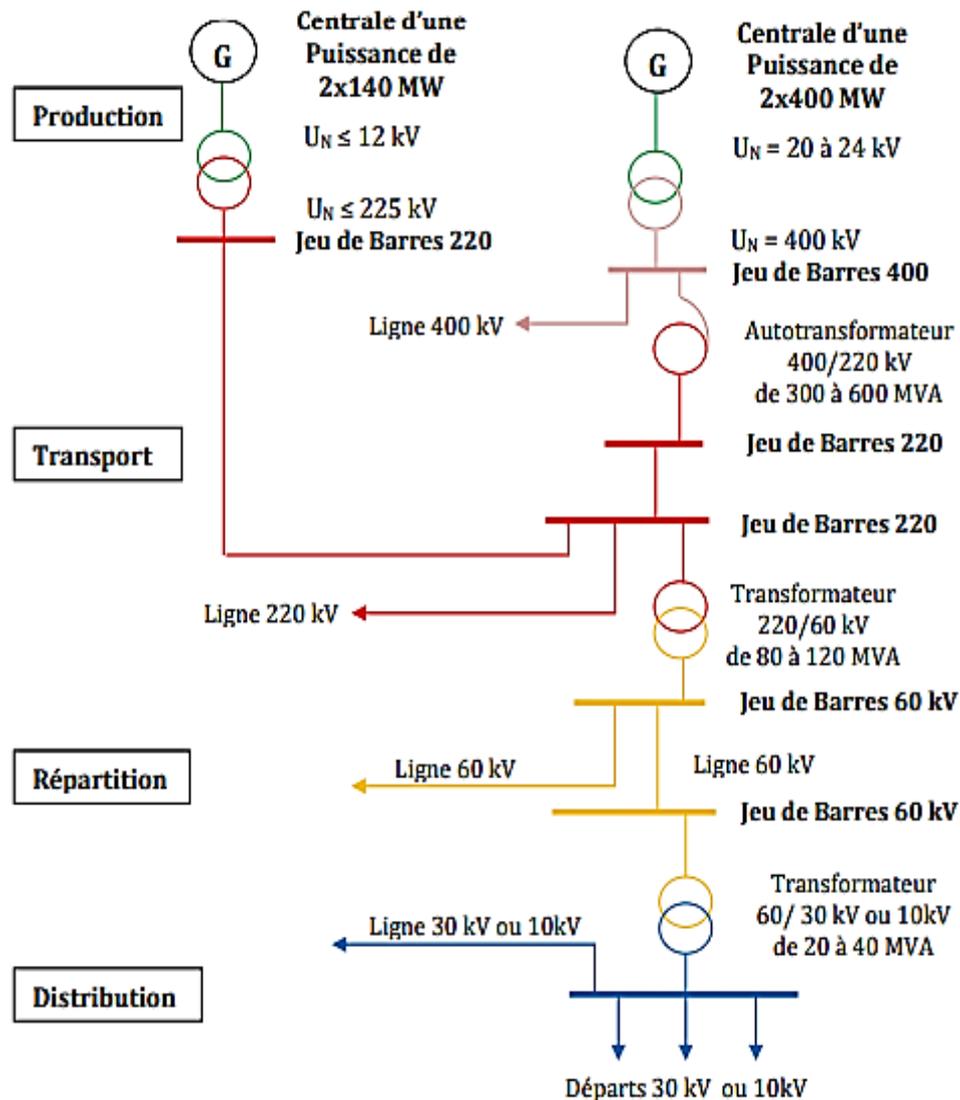


Figure II-4 : Architecture générale d'un réseau d'énergies électrique

II.5 Les niveaux de tension des réseaux :

Niveau 1 : Très haute tension dans le réseau de transport :

Le réseau de transport accueille le courant produit par les grandes centrales électriques ou les pays voisins. Le courant est transporté avec une tension de 380 kV ou 220 kV à proximité des consommateurs.

Niveau 3 : Haute tension dans le réseau de distribution suprarégional :

Dans la haute tension, le courant est distribué pour l'approvisionnement énergétique suprarégional avec une tension de 50 kV à 150 kV à des exploitants de réseaux de distribution cantonaux, régionaux et municipaux ainsi qu'à de grandes installations industrielles.

Niveau 5 : Moyenne tension dans le réseau de distribution régional :

La moyenne tension de 10 kV à 35 kV est utilisée pour la distribution régionale de courant. Des réseaux locaux de distribution approvisionnent certains quartiers des villes ou des villages ainsi que des petites et moyennes exploitations industrielles.

Niveau 7 : Basse tension dans le réseau de distribution local :

Le courant à basse tension à 400 ou 230 volts alimente quant à lui les foyers, les exploitations agricoles et les commerces.

Les niveaux 2, 4 et 6 sont des niveaux de transformation.

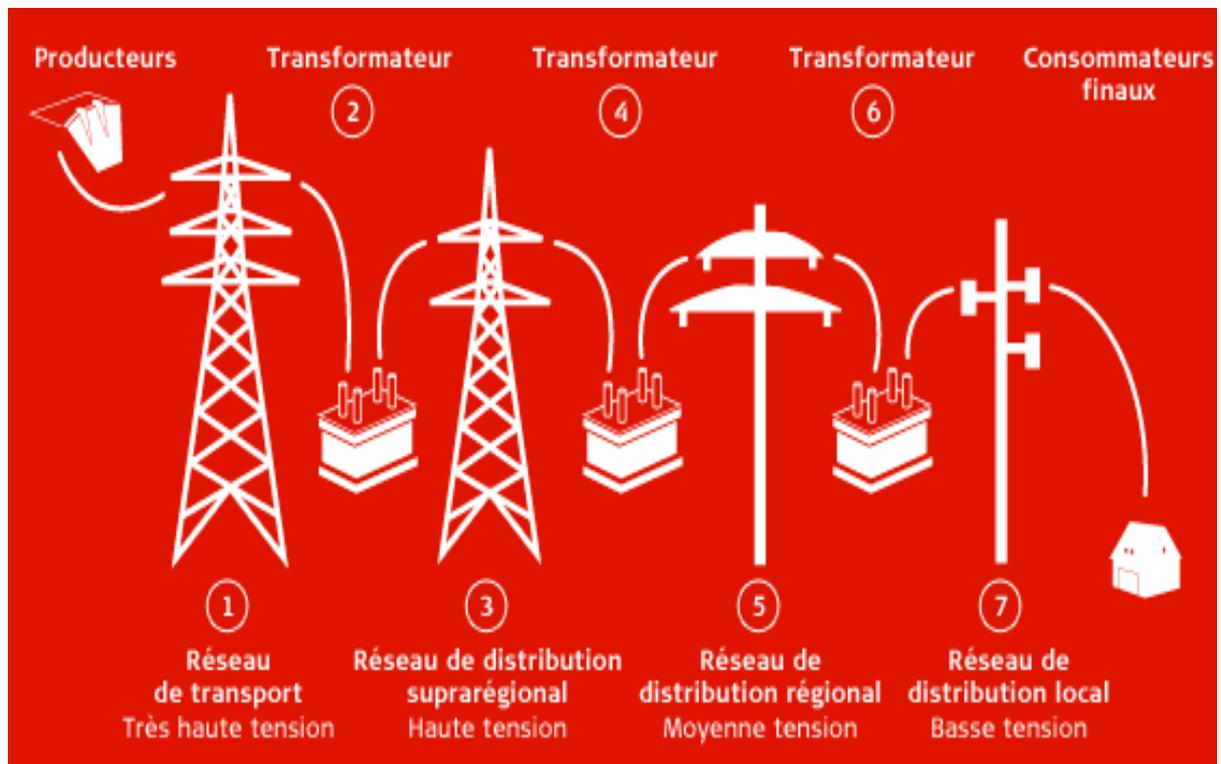


Figure II-5 : Différents type de niveau de réseaux [8]

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension en courant alternatif et continu comme suit : [9]

Tableau II-1 : Domaines de tension

Domaine de Tension		Valeur de la Tension Nominale (Un en Volts)	
		Courants Alternatif	Courants Continue
Très Basse Tension		$Un \leq 50$	$Un \leq 120$
Basse Tension (BT)	BTA	$50 < Un \leq 500$	$120 < Un \leq 750$
	BTB	$500 < Un \leq 1000$	$750 < Un \leq 1500$
Haute Tension (HT)	HTA	$1000 < Un \leq 50000$	$1500 < Un \leq 75000$
	HTB	$50000 < Un$	$75000 < Un$

II.6 Topologie et structure des réseaux électriques :

Les réseaux électriques peuvent être conçus selon plusieurs types de structures à savoir:

- Réseau maillé.
- Réseau bouclé.
- Réseau radial.

Les structures maillées et bouclées sont les plus utilisées pour la conception des réseaux de transport.

Les structures bouclées et radiales sont les plus utilisées pour la conception des réseaux de distributions. [10]

1) Réseau radial :

C'est le réseau le plus simple du point de vue conception. Il est disposé de façon à ce qu'en partant du point d'alimentation, toutes les lignes sont développées en antennes et alimentées par une seule ligne principale. [11]

2) Réseau bouclé :

Dans ce cas, on tend vers un maillage partiel par la formation de boucles. Ainsi, tous les accès de la boucle sont alimentés par deux lignes.

3) Réseau maillé :

Ils sont des réseaux avec toutes les lignes bouclées. Cette structure nécessite que tous les tronçons de lignes soient capables de surcharges permanentes et disposent d'appareils de coupure à leurs deux extrémités. Il en résulte la sécurité la plus élevée.

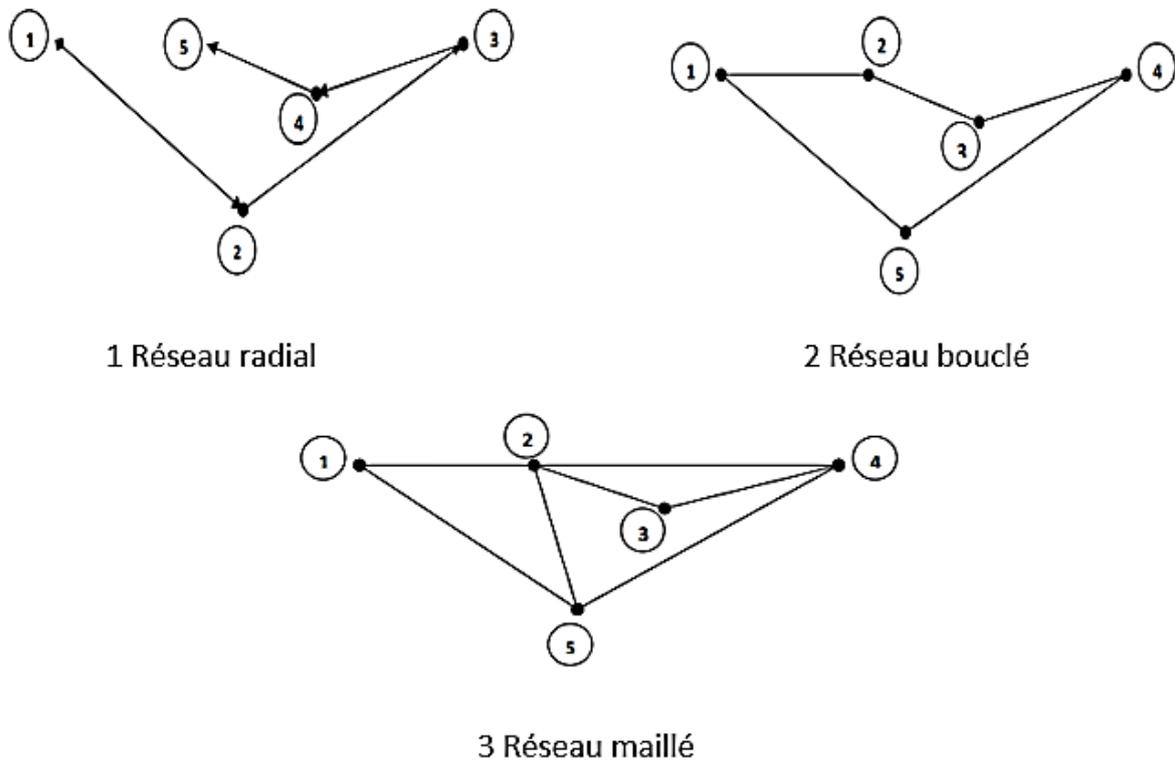


Figure II-6 : structure des réseaux électriques

II.7 Les anomalies dans un réseau électrique :

Une anomalie de réseau électrique est un événement qui perturbe le fonctionnement normal du réseau. Elle peut se manifester par une variation de la tension, du courant ou de la fréquence.

II.7.1 Court-circuit :

Le court-circuit est l'une des anomalies électriques les plus courantes. Il se produit lorsqu'un courant électrique circule de manière anormale et excessive entre deux points de

contact. Cela peut entraîner des surtensions, des étincelles, voire des incendies. Il est essentiel de détecter et de réparer les court-circuit pour éviter tout risque d'accident.

II.7.2 Surcharge électrique :

La surcharge électrique se produit lorsque les appareils électriques consomment plus de courant que ce que le circuit électrique peut supporter. Cela peut entraîner des coupures de courant fréquentes, des disjonctions et même des incendies. Il est important de vérifier régulièrement la charge électrique de votre installation pour éviter les risques de surcharge.

II.7.3 Une surtension :

Une surtension correspond à une élévation soudaine de la tension (en Volt) du courant circulant dans une installation électrique. Une surtension peut être provoquée par :

- Un coup de foudre : lorsque la foudre frappe une ligne électrique, un courant de plusieurs milliers de Volt se déverse en une fraction de seconde depuis le point de contact jusqu'au sous-sol en empruntant le chemin le plus conducteur possible. Dans certaines situations, ce chemin peut passer par les fils de votre installation électrique intérieure ;
- Un contact accidentel entre une ligne haute tension et une ligne du réseau basse tension ;
- L'allumage d'un appareil électrique très énergivore, bien que ces surtensions soient beaucoup plus légères que celles provoquées par un coup de foudre ou par un dysfonctionnement majeur du réseau.

II.7.4 Mauvaise mise à la terre :

Une mauvaise mise à la terre est l'anomalie électrique la plus fréquemment constatée. Elle se produit lorsque le circuit de mise à la terre n'est pas correctement relié à la terre. Cela peut entraîner des risques d'électrocution en cas de fuite de courant. Il est donc essentiel de vérifier la qualité de la mise à la terre de votre installation électrique.

II.7.5 Câbles électriques défectueux :

Les câbles électriques défectueux sont une autre anomalie électrique fréquemment rencontrée. Il peut s'agir de câbles abîmés, mal isolés ou mal connectés. Ces défauts peuvent entraîner des risques d'électrocution, de court-circuit et d'incendie.

II.8 Généralité sur les postes électriques :

II.8.1 Introduction :

Les postes électriques sont des éléments principaux du réseau électrique. Ils reçoivent l'énergie électrique, la transforment (en passant d'un niveau de tension à une autre) et la répartissent (en assurant la jonction des différents réseaux électriques). On y trouve un certain nombre d'appareils électriques (transformateurs, disjoncteurs, sectionneurs...) qui participent au bon fonctionnement du réseau.

II.8.2 Types des postes :

II.8.2.1 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). [12]

II.8.2.2 Les postes d'interconnexion :

Qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés.

II.8.2.3 Les postes mixtes :

Les postes mixtes, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

II.8.2.4 Les postes de distribution :

Le but est d'abaisser la tension afin de fournir de l'électricité aux clients résidentiels ou industriels.

Selon la puissance du transformateur, il existe deux modes d'emplacement du poste de distribution :

- Poste sur support
- Poste cabiné (maçonné)

II.8.3 Les différents éléments de poste électrique :

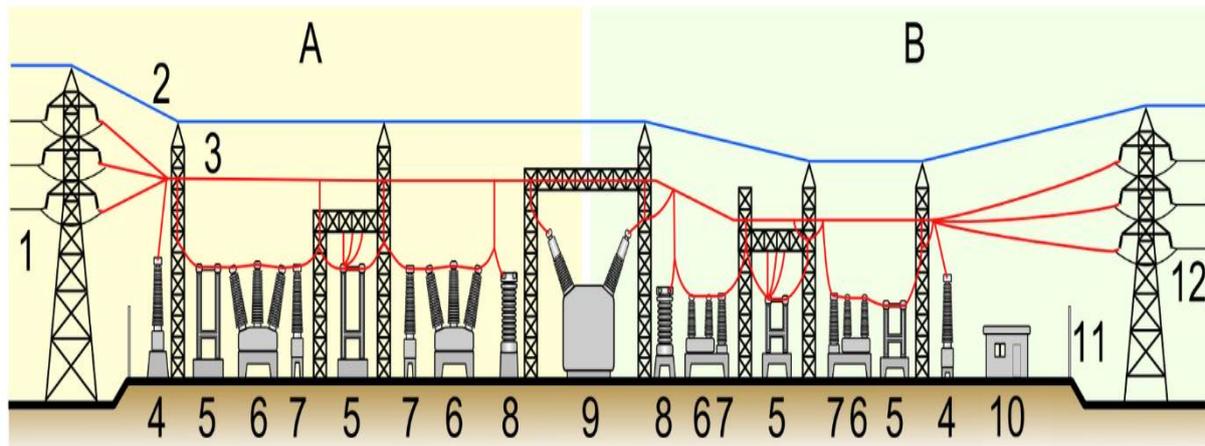


Figure II-7 : Les différents éléments de poste électrique [13]

A : côté primaire

B : côté secondaire

1. Ligne électrique primaire

2. Câble de garde

3. Ligne électrique

4. Transformateur de tension

5. Sectionneur

6. Disjoncteur

7. Transformateur de courant

8. Parafoudre

9. Transformateur

10. Bâtiment secondaire

11. Clôture

12. Ligne électrique secondaire

II.9 Étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB :

II.9.1 Définition :

L'étage 220kV du poste de transformation électrique HTB est une partie essentielle du système de distribution d'électricité. Il permet de recevoir et transformer l'énergie électrique provenant des centrales de production avant de la distribuer aux sous-stations. Cet étage joue un rôle crucial dans la stabilité et la fiabilité du réseau électrique, assurant un approvisionnement constant en énergie aux consommateurs. Il est donc important de comprendre son objectif et son importance pour garantir un fonctionnement efficace du réseau.



Figure II-8 : Etage 220 KV d'un poste de transformation électrique

II.9.2 Fonctionnement de l'étage 220kV :

- **Transport de l'électricité** : Une fois que la tension a été élevée à 220 kV, l'électricité est transmise sur de longues distances à travers des lignes de transmission haute tension vers les sous station.
- **Transformation de la tension** : Pour transporter efficacement l'électricité sur de longues distances avec moins de pertes, la tension doit être élevée. C'est là que les transformateurs de puissance entrent en jeu. L'électricité produite est envoyée à des transformateurs qui augmentent la tension à des niveaux élevés, comme 220 kV.
- **Distribution locale** : Lorsque l'électricité atteint sa destination, elle est abaissée à des niveaux de tension plus bas à l'aide de transformateurs 220/60 KV, puis

distribuée aux utilisateurs finaux tels que les maisons, les entreprises et les industries.

II.9.3 Les éléments constituant le poste de transformation :

II.9.3.1 Appareillage du poste Haute Tension HTB :

Les dispositifs de coupure offrent la possibilité de réaliser les opérations nécessaires pour mettre en place un schéma d'exploitation défini par le dispatching, ainsi que de mettre hors tension une partie du réseau afin de procéder à des travaux d'entretien, de réparation et de résoudre les problèmes.

1) Disjoncteur HTB :

Un disjoncteur vient se placer dans le tableau électrique dans le but de protéger un circuit donné. Quand il détecte une surcharge ou un court-circuit, il coupe (disjoncte) le courant (l'électricité) pour éviter que les appareils branchés ou les circuits ne subissent des dommages.

[14]



Figure II-9 : Disjoncteur haute tension

2) Sectionneurs HTB :

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou bien d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties. [15]



Figure II-10 : Sectionner de barre



Figure II-11 : Sectionner de ligne et mise à la terre

II.9.3.2 Jeu de barre :

Les jeux de barre sont généralement des barres plates ou des tubes creux en cuivre ou en aluminium. En haute tension les jeux de barres peuvent être « posés » sur des isolants, dans ce cas se sont des tubes. Ils peuvent être « tendus », c'est-à-dire que les jeux de barre sont flexibles et suspendus par des chaînes isolantes a des structures métalliques. Les jeux de barres permettent de relier les différentes composantes d'un poste électrique, ce qui les rend très important mais aussi très fragiles. En effet, si un jeu de barres est soumis à un court-circuit, c'est le poste entier qui est mis hors tension. Généralement, plusieurs jeux de barres connectés en parallèle permettant d'empêcher ce problème et permet de faire la maintenance d'un jeu de barres sans mettre le poste entier hors service. [16]



Figure II-12 : Jeu de barre

II.9.3.3 Transformateurs :

On utilise trois types de transformateurs qui sont :

1) Transformateur de puissance THT/HT :

Un transformateur de puissance est un appareil électrique utilisé dans les réseaux de transport, de distribution et de transmission électrique pour modifier la gamme de la tension alternative. Il permet de convertir une tension électrique à un niveau donné en une autre tension à un niveau différent, tout en conservant la fréquence du réseau électrique.



Figure II-13 : Transformateur de puissance

2) Transformateur de courant (TC) :

Un transformateur de courant (TC) est un appareil électrique qui est utilisé pour mesurer le courant électrique dans un circuit électrique haute tension, en le transformant en un courant proportionnellement réduit qui peut être facilement mesuré avec un appareil de mesure de courant conventionnel. Le rôle principal du transformateur de courant est donc de fournir une mesure de courant précise et sûre dans les circuits électriques haute tension. Il est largement utilisé dans les réseaux de distribution d'énergie électrique, les postes de transformation, les usines industrielles et autres installations électriques.

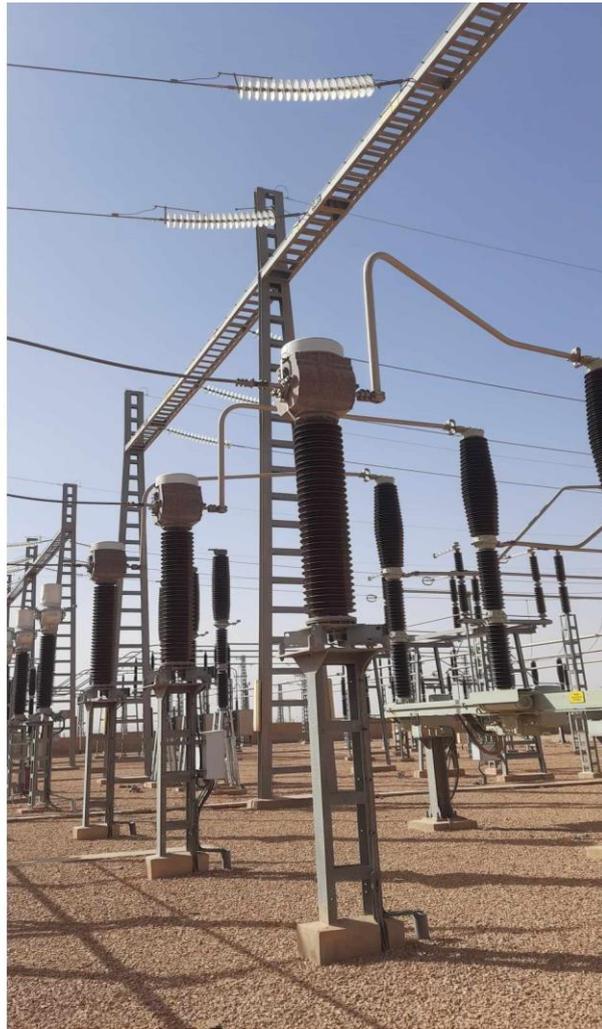


Figure II-14 : Transformateur de courant

3) Transformateurs de tension (TT) :

Transformateur de tension est un dispositif essentiel dans les réseaux électriques pour mesurer des tensions élevées. Il convertit une tension d'entrée en une tension de sortie plus faible pour la mesure. Ces transformateurs sont utilisés pour surveiller la tension électrique dans les installations électriques, garantissant un fonctionnement optimal du réseau. Ils sont construits de manière similaire aux transformateurs de puissance conventionnels, avec la tension produite proportionnelle au nombre de tours des enroulements. Les transformateurs de tension sont cruciaux pour mesurer des tensions élevées dans les centrales électriques et les sous-stations, assurant un transfert efficace de l'énergie électrique. Ils sont un élément clé pour maintenir la stabilité et la sécurité des réseaux électriques.



Figure II-15 : Transformateurs de tension

II.9.4 Sécurité et protections :

La sécurité dans cette zone est extrêmement importante en raison des niveaux de tension élevés impliqués à cause des risques associés à la manipulation de l'électricité. A cet effet pour assurer une meilleure protection des gens et des biens, il faut respecter les suggestions suivantes:

- **Protection contre les chocs électriques :** À 220 kV, les risques des chocs électriques sont élevés. Des normes rigoureuses concernant l'isolation des équipements et des câbles, ainsi que des mesures de protection des travailleurs contre les chocs électriques, doivent être mises en place. Cela peut inclure

l'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) tels que des gants isolants, des casques, des lunettes de protection et des vêtements résistants à l'arc électrique.

- **Sécurité des installations :** Les équipements à 220 kV doivent être conçus, installés et entretenus conformément à des normes strictes. Cela inclut l'installation de barrières physiques pour empêcher l'accès non autorisé, ainsi que des procédures de verrouillage et d'étiquetage pour assurer la sécurité lors de la maintenance et des réparations.
- **Formation et sensibilisation :** Tous les travailleurs qui interviennent dans l'étage (niveaux de tension) 220 kV doivent recevoir une formation adéquate sur les risques électriques associés à ces tensions élevées, ainsi que sur les procédures de sécurité à suivre en cas d'urgence.

II.9.5 Contrôle et surveillance :

Tout au long de ce processus, l'étage 220 kV est surveillé de près pour assurer un fonctionnement sûr et efficace du réseau électrique. Des dispositifs de contrôle et de protection sont également en place pour détecter et répondre rapidement à tout problème, comme les surcharges ou les court-circuit, afin de maintenir la fiabilité du système.



Figure II-16 : Contrôle d'étage 220 KV du poste Ghardaïa

II.9.6 Avantages et inconvénients de l'étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB :

1. Avantages :

- **Transmission efficace de l'électricité** : Les postes de transformation 220 kV permettent une transmission efficace de l'électricité sur de longues distances avec moins de pertes en raison de la tension élevée.
- **Faible perte de puissance** : Les pertes de puissance lors de la transmission à une tension de 220 kV sont généralement plus faibles que celles observées à des tensions plus basses.
- **Meilleure intégration du réseau** : Les postes de transformation 220 kV facilitent l'intégration des sources d'énergie renouvelable, telles que l'énergie éolienne et solaire, dans le réseau électrique.

2. Inconvénients :

- **Sécurité** : Les postes de transformation 220 kV présentent des risques pour la sécurité des personnes travaillant à proximité et nécessitent des mesures de sécurité strictes pour prévenir les accidents.
- **Risque accru en cas de panne** : Bien que les postes de transformation 220 kV soient conçus pour être robustes, une panne peut avoir des conséquences plus importantes en raison de la quantité d'électricité qu'ils transportent.
- **Impact visuel et environnemental** : Les postes de transformation électrique peuvent avoir un impact visuel sur le paysage environnant, et leur présence peut également susciter des préoccupations environnementales en raison des champs électromagnétiques émis.

II.10 Conclusion :

Le réseau électrique HTB est un élément essentiel du système électrique. Il joue un rôle crucial dans le transport de l'électricité sur de longues distances, depuis les centrales électriques jusqu'aux points de distribution locaux.

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur le réseau électrique, ensuite, on a expliqué la description et la structure des réseaux électriques, ainsi que les défaillances et les anomalies qui peuvent survenir.

Enfin, nous avons discuté en détail l'étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB où nous l'avons défini, compris son fonctionnement et ses composants et précisé ses avantages et ses inconvénients.

CHAPITRE III :

LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET SES METHODES D'ANALYSE

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

III.1 Introduction

La maintenance industrielle est une fonction stratégique en entreprise ! Si on a pu, par le passé, lui donner pour seule vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, ses objectifs sont bien plus nombreux et complexes.

Aujourd'hui, la maintenance est au cœur de toute activité industrielle et constitue un enjeu majeur pour la productivité et la compétitivité des entreprises. Autrefois cantonnée à de simples opérations de réparation ou de dépannage réalisées en réaction à des pannes, la maintenance industrielle est aujourd'hui un domaine bien plus vaste dont les performances ont une influence considérable sur la productivité des usines.

Pourtant, ses enjeux, ses méthodes et les outils à la disposition des professionnels restent pourtant trop souvent méconnus. Ces outils ont fortement évolué au cours des dernières années grâce aux progrès technologiques et de nouvelles solutions de gestion de la maintenance permettent maintenant de faciliter considérablement le travail des équipes de terrain tout en permettant aux décideurs d'améliorer leur organisation et leur prise de décision.

III.2 généralité sur la maintenance industrielle

III.2.1 Définition 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.

III.2.2 objectifs de la maintenance :

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

- Assurer la pérennité des équipements.
- Maintenir la sécurité des personnes et des biens.
- Optimiser les performances des équipements.
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer le nombre des pannes.

- Réduire les coûts de maintenance.

III.2.3 La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

La stratégie de maintenance est un outil de gestion utilisé pour atteindre les objectifs de maintenance.

Les stratégies de maintenance peuvent être utilisées pour atteindre plusieurs objectifs de maintenance :

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- Élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- Organiser les équipes de maintenance.
- Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance.
- Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.
- Étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité. [17]

III.2.4 Niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies en cinq niveaux de maintenance. Les cinq niveaux de maintenance sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-1 : Les niveaux de la maintenance [17]

Niveau 1	<p>Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien.</p> <p>Ce type d'intervention peut être effectuée par : l'utilisateur du bien.</p> <p>Quelques exemples : Test de lampes sur pupitre ; Purge d'éléments filtrants ; Remplacement des ampoules.</p>
-----------------	---

Niveau 2	<p>Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple.</p> <p>Ce type d'intervention peut être effectuée par : personnel qualifié.</p> <p>Quelques exemples : Contrôle de paramètres sur équipements en fonctionnement, Remplacement par échange standard de pièces.</p>
Niveau 3	<p>Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes.</p> <p>Ce type d'intervention peut être effectuée par : technicien qualifié.</p> <p>Quelques exemples : Contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens ; Diagnostic ; Réparation d'une fuite de fluide frigorigène (groupe de froid).</p>
Niveau 4	<p>Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés.</p> <p>Ce type d'intervention peut être effectuée par : technicien ou équipe spécialisée.</p> <p>Quelques exemples : Analyse vibratoire ; Analyse des lubrifiants ; Remplacement de clapets de compresseur.</p>
Niveau 5	<p>Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Ce sont des opérations de rénovation, reconstruction, etc.</p> <p>Ce type d'intervention peut être effectuée par : constructeur ou société spécialisée.</p> <p>Quelques exemples : Révisions générales avec le démontage complet de la machine ; Reprise dimensionnelle et géométrique.</p>

III.2.5 Types de maintenance :

La figure suivante (III-1) montre les différents types de maintenance :

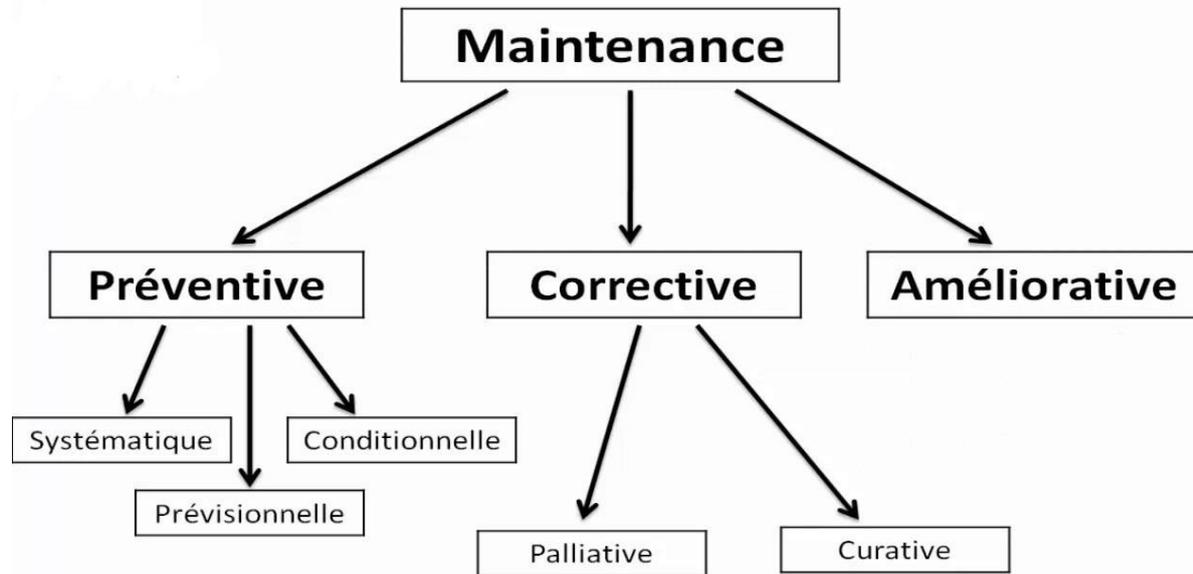


Figure III-1 : Les différents types de maintenance

III.2.5.1 La maintenance corrective :

La maintenance corrective est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. [17]

La maintenance corrective, désigne l'ensemble des actions entreprises pour réparer un dysfonctionnement ou une panne après qu'il se soit produit. Son objectif principal est de remettre en état de marche un système, une machine, ou un équipement défaillant afin de rétablir son fonctionnement normal.

III.2.5.1.1 Les différents types de maintenance corrective :

1) Maintenance corrective palliative :

Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.

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

2) Maintenance corrective curative :

Action de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié pour lui permettre d'accomplir une fonction requise.

III.2.5.1.2 Les objectifs de la maintenance corrective :

- Augmenter la disponibilité du bien et sa durée de vie.
- Assurez la sécurité du personnel et du bien.
- Améliorer de la qualité des biens.
- La Protection de l'environnement. [18]

III.2.5.1.3 Les opération de maintenance corrective :

Après une défaillance, le maintenancier doit effectuer un certain nombre d'opérations, dont les définitions sont données ci-dessous. Ces tâches sont exécutées en étapes. :

1. **test** : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence,
 2. **détection** : ou action de déceler l'apparition d'une défaillance,
 3. **localisation** : ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste,
 4. **diagnostic** : ou identification et analyse des causes de la défaillance,
 5. **dépannage** : réparation ou remise en état (avec ou sans modification),
 6. **contrôle** : du bon fonctionnement après intervention,
 7. **amélioration éventuelle** : c'est à dire éviter la réapparition de la panne,
 8. **historique** : ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.
- [19]

III.2.5.2 La maintenance préventive :

C'est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. [17]

La maintenance préventive, consiste à effectuer des interventions régulières sur un équipement, à intervalles prédéfinis ou selon des critères précis, afin de prévenir les pannes et garantir son bon fonctionnement.

III.2.5.2.1 Les différents types de maintenance préventive :

1) La maintenance préventive systématique :

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

2) La maintenance préventive conditionnelle :

C'est la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

3) La maintenance préventive prévisionnelle :

La maintenance prévisionnelle est une approche de gestion de la maintenance qui vise à anticiper les défaillances. La maintenance prévisionnelle repose sur l'utilisation de données et de techniques d'analyse pour prévoir quand un équipement pourrait avoir besoin de réparations ou de remplacement.

III.2.5.2.2 Les objectifs de la maintenance préventive :

- Améliorer la fiabilité du matériel.
- Améliorer la gestion des stocks.
- Garantir la qualité des produits. [18]

III.2.5.2.3 Les opérations de maintenance préventive :

1. Inspection : Le contrôle de conformité est effectué en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques importantes d'un bien. Cela permet de détecter les anomalies et d'effectuer des réglages simples sans arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).

2. Visite : inspection approfondie et prédéterminée de tous les éléments du bien (visite générale) ou d'une partie (visite limitée) et pouvant inclure des opérations de maintenance de premier et deuxième niveau ; elle peut également conduire à 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 effectués pour maintenir la disponibilité et la sécurité d'un bien. Une révision est fréquemment effectuée à des intervalles prédéterminés de temps ou après un certain nombre d'opérations. Un démontage complet ou partiel du bien est nécessaire pour une révision. Ainsi, il ne faut pas confondre la notion de révision avec la notion de surveillance. Une action de maintenance de niveau 4 est une révision. [19]

5. historique : Tenir à jour un registre de toutes les opérations de maintenance effectuées, y compris les dates et les détails des travaux réalisés.

III.2.5.3 La maintenance améliorative :

III.2.5.3.1 Définition :

La maintenance améliorative est moins connue et souvent considérée comme une « activité connexe ». Elle désigne un ensemble de mesures techniques, administrative et de gestion visant à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien en modifiant la conception d'origine mais sans changer sa fonction requise. [20]

III.2.5.3.2 Les objectifs de la maintenance améliorative :

- Réduire la consommation d'énergie.
- Améliorer la maintenabilité pour améliorer la fiabilité.
- Augmenter la durée de vie des composants c'est-à-dire la disponibilité.
- Augmenter les performances de production. [20]

III.3 Différentes méthodes d'analyse utilisées en maintenance :

III.3.1 Méthode ABC ou courbe de Pareto :

III.3.1.1 Définition :

La méthode ABC est un moyen objectif d'analyse, elle permet de classer les éléments qui représentent la fraction la plus importante du caractère étudié, en indiquant les pourcentages pour un caractère déterminé. La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet

l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. [21]

III.3.1.2 But de la méthode ABC :

Afin de réduire les effets de cette loi, il est possible de déterminer les éléments les plus pénalisants :

- Diminuer les couts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

III.3.1.3 Les 3 catégories de la méthode ABC :

La méthode ABC opère selon le principe de catégorisation en 3 catégories distinctes :

- **Le groupe A** : il regroupe les références qui forment 80 % des sorties, ce qui représente habituellement 20 % des références (c'est la loi de Pareto).
- **Le groupe B** : il englobe les références qui correspondent à 15 % des sorties, représentant en général 30 % des références.
- **Le groupe C** : il comprend les références formant 5 % des sorties, soit typiquement 50 % des références. [22]

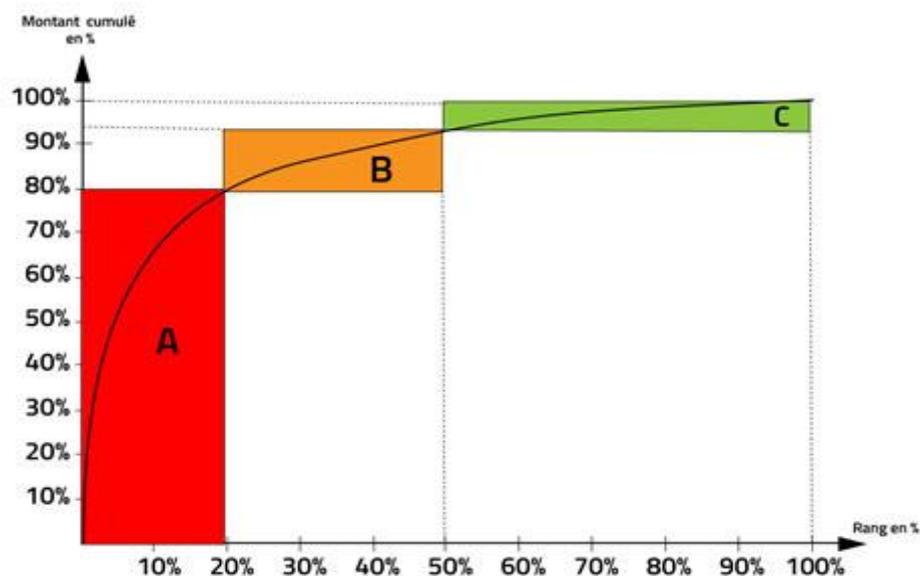


Figure III-2 : courbe de Pareto

III.3.1.4 Méthodologie de la méthode ABC :

1. Organisation les éléments dans l'ordre décroissant par le cumul de temps d'arrêt.
2. Faites un total de cumul du temps d'arrêt et cumul de fréquence.
3. Conversion le cumul de temps d'arrêt et le cumul de fréquence trouver en pourcentage.
4. Dessiner le graphe de cumul du temps d'arrêt en fonction du cumul de fréquence en %, et en divisant en trois catégories A, B et C.
5. Prenez des solutions et mesures appropriées.

III.3.2 La méthode AMDEC :**III.3.2.1 Définition :**

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

Selon AFNOR, l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC) est une méthode inductive qui permet à chaque composant d'un système de recenser son mode de défaillance et son impact sur le fonctionnement ou la sécurité du système. [21]

III.3.2.2 Type d'AMDEC :

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

a) AMDEC produit :

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

b) AMDEC processus :

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

Les sorties de l'étude sont :

- De fabrication.
- Plan de contrôle Modes opératoires.

c) AMDEC machine :

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

Les sorties de l'étude sont :

- Modes opératoires de conduite et de maintenance
- Formation du personnel (production et maintenance)
- Politique de maintenance et de pièces de rechange
- Modifications pour améliorer la fiabilité ou la maintenabilité. [21]

III.3.2.3 Objectifs de l'AMDEC :

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

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

III.3.2.4 Méthodologie d'une AMDEC :

- 1) Constitution d'un groupe de travail.
- 2) Décomposition fonctionnelle du système.
- 3) Evaluation des défaillances potentielles.
- 4) Détermination des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs causes.
- 5) Attribution des critères de gravité, de fréquence et de non détection.
 - D : probabilité de non détection de la cause de la défaillance
 - F : fréquence de la défaillance

- G : gravité de la défaillance
- 6) Calcul de criticité et hiérarchisation.

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

- 7) Déduction des actions correctives à mener. [17]

APPLIQUER LA MÉTHODE AMDEC

5 ÉTAPES



Figure III-3 : les étapes de l'AMDEC [23]

III.3.3 Diagramme Ishikawa ou 5M :

III.3.3.1 Définition :

La méthode 5M (Diagramme d'Ishikawa) est une méthode d'analyse qui a pour objectif de rechercher les différentes causes possibles d'un problème. En effet, elle permet d'identifier la cause racine d'un dysfonctionnement.

Elle fut créée par le professeur Kaoru Ishikawa ce qui lui vaut aussi son appellation « diagramme d'Ishikawa ». Sa simplicité lui permettra de devenir un outil indispensable au bon fonctionnement d'une démarche Qualité.

La méthode d'Ishikawa est une représentation graphique en diagramme. Elle ressemble à une arête de poisson. Cela se matérialise par une structure qui met en lien les causes et leurs effets (défaut, panne, dysfonctionnement, ...). Cette représentation lui a valu l'appellations « d'arêtes de poisson ». [24]

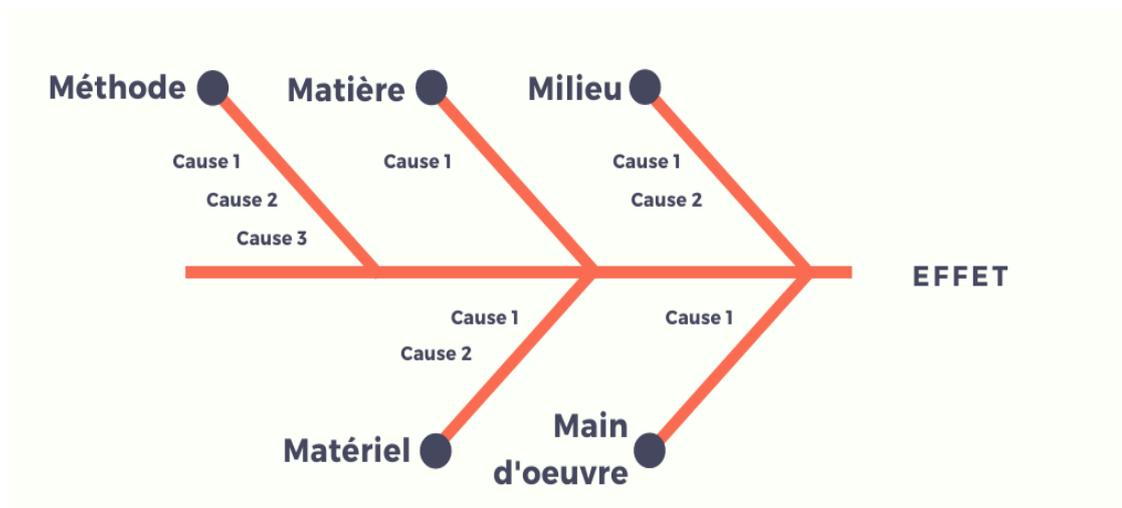


Figure III-4 : Diagramme de Ishikawa

La méthode des 5 M permet d'orienter la réflexion vers les 5 domaines, desquels sont généralement issues les causes :

- **Matière** : les différents consommables utilisés, matières premières...
- **Milieu** : le lieu de travail, son aspect, son organisation physique...
- **Méthodes** : les procédures, le flux d'information...
- **Matériel** : les équipements, machines, outillages, pièces de rechange...
- **Main d'oeuvre** : les ressources humaines, les qualifications du personnel...

LES 5M ISHIKAWA

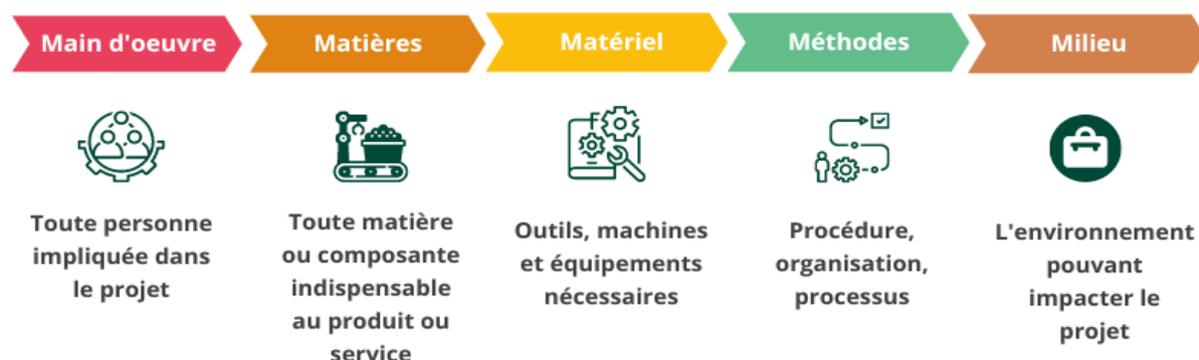


Figure III-5 : Les 5M

III.3.3.2 Les étapes de ISHIKAWA :

Etape 1 : Lancer une séance brainstorming

Etape 2 : Cerner précisément le problème ou l'effet

Etape 3 : Déterminer toutes les causes potentielles

Etape 4 : Classifier toutes les causes par catégorie

Etape 5 : Trouver les causes racines

Etape 6 : Dresser un plan d'action [25]

III.3.4 La méthode QQQQCP :

III.3.4.1 Définition :

La méthode QQQQCP, est un outil de questionnement systématique utilisé pour analyser et résoudre des problèmes de manière structurée. Chaque lettre de l'acronyme représente une question spécifique :

- **Q** - Quoi
- **Q** - Qui
- **O** - Où
- **Q** - Quand
- **C** - Comment
- **P** - Pourquoi

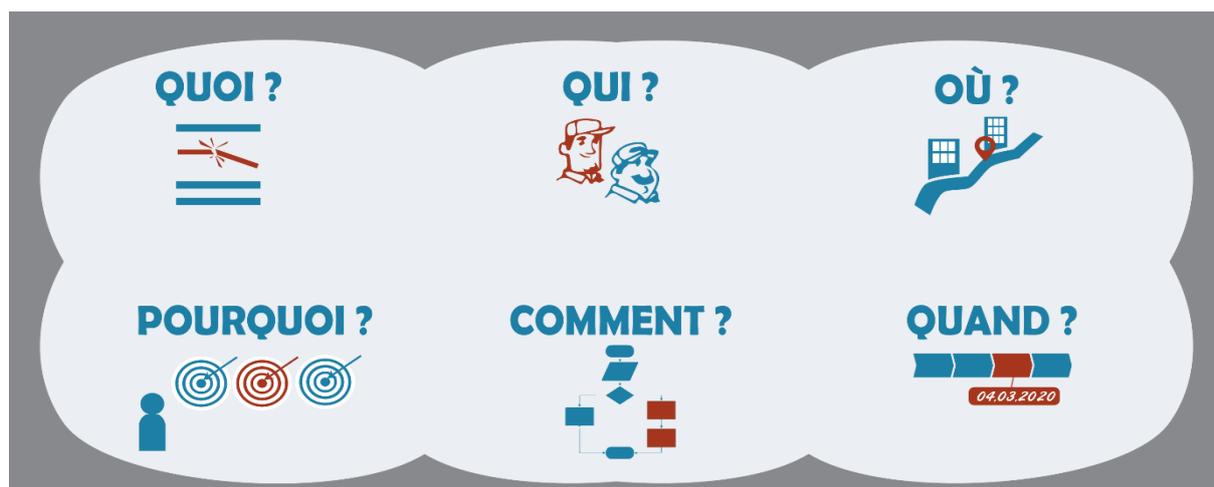


Figure III-6 : Les question du QQQQCP

III.3.4.2 Les étapes de cette méthode :

Qui : identifie l'ensemble des personnes concernées dans le processus d'achat et d'utilisation du produit ou du service vendu. Par exemple : qui sont les interlocuteurs, qui sont les décideurs.

Quoi : définit la situation de l'interlocuteur. Elle met en évidence le besoin du prospect et l'élément déclencheur de cette situation.

Où : identifie le lieu concerné par la problématique.

Quand : permet de situer une situation dans le temps et de se renseigner sur les notions de planning, d'échéance, de durée ou de fréquence.

Comment : dresse un tableau des causes ou des raisons de la situation actuelle. Elle met en avant la façon dont le besoin est apparu.

Pourquoi : amène le client à faire part de ses motivations profondes à acheter un produit ou un service. Le vendeur peut alors se servir de ces informations comme d'un levier pour convaincre l'acheteur potentiel. [26]

III.3.4.3 Objectif du QQQQCP :

Que permet de faire le QQQQCP ?

- ❖ Clarifier une situation floue.
- ❖ Ralentir et prendre le temps de la réflexion.
- ❖ Centrer les discussions d'un groupe de travail.

- ❖ Communiquer de façon complète. [27]

III.3.5 Arbre de défaillances :

III.3.5.1 Définition :

C'est un diagramme déductif qui va de l'effet vers la cause et qui a pour objet de rechercher toutes les combinaisons de défaillances élémentaires (primaires) pouvant déboucher vers une panne. [28]

III.3.5.2 Méthodologie de la méthode arbre de défaillances :

Démarche : L'arbre de défaillance est une méthode déductive, qui fournit une démarche systématique pour identifier les causes d'un évènement unique intitulé évènement redouté.

Le point de départ de la construction de l'arbre est l'évènement redouté lui-même (également appelé évènement du sommet). Il est essentiel qu'il soit unique et bien identifier. A partir de là, le principe est de définir des niveaux successifs d'évènements tels que chacun est une conséquence d'un ou plusieurs évènements du niveau inférieur.

La démarche est la suivante :

- Pour chaque évènement d'un niveau donné, le but est d'identifier l'ensemble des évènements immédiats nécessaires et suffisants à sa réalisation. Des opérateurs logiques (portes) permettent de définir précisément les liens entre les évènements des différents niveaux.
- Le processus déductif est poursuivi niveau par niveau jusqu'à ce que les spécialistes concernés ne jugent pas nécessaire de décomposer des évènements en combinaison d'évènements de niveaux inférieurs, notamment parce qu'ils disposent d'une valeur de probabilité d'occurrence de l'évènement analysé.

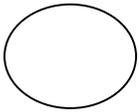
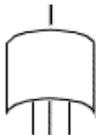
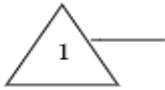
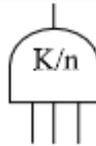
Ces évènements non décomposés de l'arbre sont appelés évènements élémentaires (ou évènements de bases). [29]

III.3.5.3 Construction d'un arbre de défaillance :

L'analyse par l'arbre de défaillance se concentre sur un évènement particulier qualifié d'indésirable ou de redoutée car on ne souhaite pas le voir se réaliser. Cet évènement devient le sommet de l'arbre et l'analyse a pour but d'en déterminer toutes les causes.

La syntaxe des arbres de défaillances est décrite dans le tableau suivant : [18]

Tableau III-2 : Syntaxe des arbres de défaillances

Événement/report	Dénomination	Portes	Dénomination
	Événement de base		ET
	Événement sommet ou événement intermédiaire		OU
	Report (Sortie)		OU exclusif
	Report (Entrée)		Combinaison

III.3.6 Concept FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) :

III.3.6.1 Fiabilité :

III.3.6.1.1 Définition :

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné (NF EN 13306) ou « caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » (NF X 60-500). [30]

III.3.6.1.2 Types de fiabilité :

La fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie du système :

- 1) **La fiabilité prévisionnelle** : c'est celle qui est déterminée, durant la phase de conception, sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composantes.

- 2) **La fiabilité estimée** : c'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci à l'aide d'un ensemble d'essais.
- 3) **La fiabilité opérationnelle** : c'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitations et du support logique. [21]

III.3.6.1.3 Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF) :

III.3.6.1.3.1 Taux de défaillance (λ) :

Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

$$(\lambda) = \frac{\text{Nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{Durée total de bon fonctionnement}}$$

III.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). [21]

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

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

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

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant : } \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

III.3.6.1.4 Les lois de probabilité utilisées en fiabilité :

On distingue deux types :

- ✓ Lois discrètes

✓ Lois continues

1) Lois discrètes :

1.1) Loi uniforme :

Une distribution de probabilité suit une loi uniforme lorsque toutes les valeurs prises par la variable aléatoire sont équiprobables. Si n est le nombre de valeurs différentes prises par la variable aléatoire. La fonction de fiabilité est définie par l'expression suivante :

$$P(X = x_i) = \frac{1}{n}$$

1.2) Loi Poisson :

Une variable aléatoire x suit une loi de « Poisson » si elle peut prendre les valeurs entières $0, 1, 2, 3, \dots, n$. La probabilité pour que x soit égal à k est :

$$P(x = n) = e^{-\lambda} \times \frac{\lambda^n}{n!}$$

2) Lois continues :

2.1) La loi exponentielle :

La loi exponentielle est une loi simple ayant un seul paramètre et généralement utilisée pour modéliser des données de fiabilité.

$$\text{Fiabilité : } R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\text{La fonction de répartition : } F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

2.2) La loi de Weibull :

L'expression loi de Weibull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissant en physique comme conséquence de certaines hypothèses.

$$\text{Sa fonction de fiabilité est : } R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Avec les paramètres de signification :

γ, β, η définissent la distribution de Weibull.

On utilise trois paramètres :

β : paramètre de forme

η : paramètre d'échelle

γ : paramètre de position

III.3.6.2 La Maintenabilité :

III.3.6.2.1 Définition :

Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. (NF EN 13306). [30]

III.3.6.2.2 Types de maintenabilité :

A partir de cette définition, on distingue :

- 1) **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.).
- 2) **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- 3) **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions. [31]

III.3.6.2.3 Calcul de la maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

$$MTTR = \frac{\text{La sommes de temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

III.3.6.2.4 Taux de réparation μ :

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

III.3.6.3 Disponibilité :

III.3.6.3.1 Définition :

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

III.3.6.3.2 Types de disponibilité :

- 1) **Disponibilité intrinsèque D_i** : cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne. [32]

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

- 2) **Disponibilité opérationnelle D_o** : Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur.

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$$

- 3) **Disponibilité instantanée $D_{(t)}$** : La disponibilité instantanée d'un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constant et d'un taux de réparation constant est :

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

III.3.6.3.3 Les relation entre FMD :

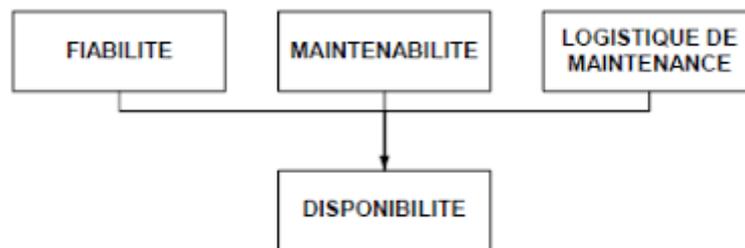


Figure III-7 : Relation FMD

- ❖ **TTR** : Time To Repair, temps de réparation.
- ❖ **TBF** : Time Between Failures, les intervalles de temps entre deux défaillances consécutives.
- ❖ **TTA** : Time to acknowledge, temps techniques d'arrêt.
- ❖ **UT** : Durée de fonctionnement après réparation Up Time.
- ❖ **MUT** : Mean Up Time, Durée moyenne de fonctionnement après réparation.
- ❖ **MDT** : Mean Down Time, Durée moyenne d'indisponibilité (temps de détection de la panne + temps de réparation + temps de remise en service).
- ❖ **MTBF** : mean time between failures, temps moyen entre (deux débuts de) pannes
- ❖ **MTTR** : mean time to repair, temps moyen jusqu'à la réparation.
- ❖ **MTTA** : mean time to acknowledge, est la moyenne des temps techniques d'arrêt.

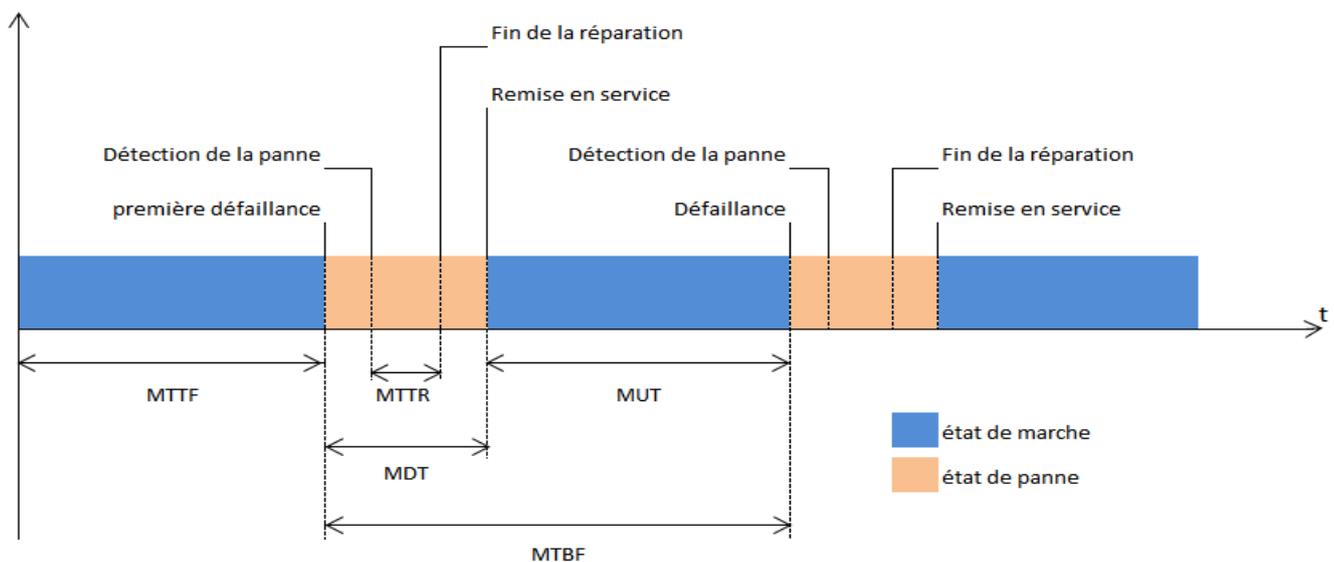


Figure III-8 : Les temps de maintenance

IV.4 Conclusion :

Ce chapitre fournit les concepts fondamentaux de la maintenance.

Nous avons expliqué et défini la maintenance et ces types, les objectifs et les stratégies de la maintenance et nous avons aussi expliqué les différents niveaux de la maintenance, ainsi que nous avons cité presque tous les opérations de maintenance préventive et corrective.

Dans ce chapitre nous avons également présenté les différentes méthodes utilisées pour nous permettre d'analyser les défaillances du système étudié.

Nous avons présenté dans ce chapitre les méthodes suivantes : la méthode ABC, la méthode AMDEC, la méthode d'Ishikawa ou 5M, la méthode QQQCP et la méthode arbre de défaillance.

Enfin, nous avons expliqué le concept FMD en détail.

CHAPITRE IV :

APPLICATION DES OUTILS D'ANALYSE SUR LES DONNEES DE L'ENTREPRISE.

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

IV.1 Introduction :

Après avoir effectué notre stage pratique chez SONELGAZ transport de l'électricité (STE), nous avons écrit cette section pour présenter les détails et les résultats de notre étude visant à optimiser la maintenance préventive de l'étage 220kV d'un réseau électrique HTB.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons choisi d'utiliser les méthodes ABC, AMDEC et FMD, dont les spécificités et les résultats sont clairement exposés dans ce chapitre.

IV.2 Historique des pannes de l'étage 220KV :

Le tableau suivant résume l'historique des pannes de l'étage 220 kV du Poste STE Ghardaïa de 01/01/2021 jusqu'à 31/12/2022.

Tableau IV-1 : Historique des pannes

N°	Désignation de l'anomalie	Date de début de panne	Date de fin de Panne	Temps d'arrêt (h)
1	Baisse Pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne ORG PH0.	11/01/2021	11/01/2021	15
2	Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8	16/02/2021	17/02/2021	5
3	Baisse pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne MTL PH 4.	21/03/2021	21/03/2021	3
4	Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse	02/04/2021	02/04/2021	7
5	Apparition signalisation alarme trouble sur protection max I 220 kV travée TR N°02	11/04/2021	11/04/2021	5
6	Anomalie au niveau du système de refroidissement au TR N°02	01/06/2021	01/06/2021	7
7	Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique.	03/07/2021	04/07/2021	17
8	Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8	20/08/2021	20/08/2021	1

9	Baisse pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne MTL PH 4.	06/09/2021	06/09/2021	8
10	Baisse Pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne MTL PH 8.	14/11/2021	15/11/2021	19
11	Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8.	25/12/2021	29/12/2021	84
12	Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse	04/01/2022	04/01/2022	5
13	Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8	09/03/2022	09/03/2022	2
14	Refus d'ouverture et de fermeture Sectionneur de barre 220 kV travée Poste HRM	14/05/2022	14/05/2022	1
15	Compteur d'énergie travée 220 kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrements des énergies active et réactive	21/06/2022	25/06/2022	69
16	Perte de communication protections travées 220 kV travée ligne ORG	05/08/2022	06/08/2022	26
17	Baisse Pression GAZ SF6 sur disjoncteur 220 kV travée ligne MTL	09/09/2022	09/09/2022	4
18	Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8	17/09/2022	17/09/2022	5
19	Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse	09/10/2022	09/10/2022	2
20	Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01	19/11/2022	19/11/2022	16
21	Refus de fermeture sectionneur ligne 220KV travée ligne HRM	23/11/2022	23/11/2022	1
22	Manque courant continu sur protection max I travée TR N°01	20/12/2022	20/12/2022	3

IV.3 Application des méthodes d'analyse :

IV.3.1 Application de la méthode de la courbe ABC (loi de Pareto) :

Pour appliquer la méthode ABC, il est nécessaire de classer tout d'abord les pannes de l'étage 220 kV du poste de transformation par ordre décroissant, puis de calculer leurs cumuls et leurs pourcentages. Ensuite, il est nécessaire de calculer le cumul et le pourcentage des fréquences des pannes, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV-2 : Analyse ABC (Pareto)

N°	Désignation de l'anomalie	Fréquence de la défaillance	Temps d'arrêt (h)	Cumul de Fréquence	Cumul de Temps d'arrêt (h)	Cumul de Fréquence en %	Cumul de Temps d'arrêt en %
1	Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8.	1	84	1	84	4,54%	27,54%
2	Compteur d'énergie travée 220 kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrement des énergies active et réactive	1	69	2	153	9,09%	50,16%
3	Perte de communication protections travées 220 kV travée ligne ORG	1	26	3	179	13,63%	58,68%
4	Baisse Pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne MTL PH 8.	1	19	4	198	18,18%	64,91%
5	Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique.	1	17	5	215	22,72%	70,49%

6	Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01	1	16	6	231	27,27%	75,73%
7	Baisse Pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne ORG PH0.	1	15	7	246	31,18%	80,65%
8	Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse	3	14	10	260	45,45%	85,24%
9	Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8	4	13	14	273	63,63%	89,5%
10	Baisse pression GAZ SF6 sur TC 220 kV travée ligne MTL PH 4.	2	11	16	284	72,72%	93,11%
11	Anomalie au niveau du système de refroidissement au TR N°02	1	7	17	291	77,27%	95,4%
12	Apparition signalisation alarme trouble sur protection max I 220 kV travée TR N°02	1	5	18	296	81,81%	97,04%
13	Baisse Pression GAZ SF6 sur disjoncteur 220 kV travée ligne MTL	1	4	19	300	86,36%	98,36%
14	Manque courant continu sur protection max I travée TR N°01	1	3	20	303	90,90%	99,34%
15	Refus d'ouverture et de fermeture Sectionneur de barre 220 kV travée Poste HRM	1	1	21	304	95,45%	99,67%
16	Refus de fermeture sectionneur ligne 220KV travée ligne HRM	1	1	22	305	100 %	100%

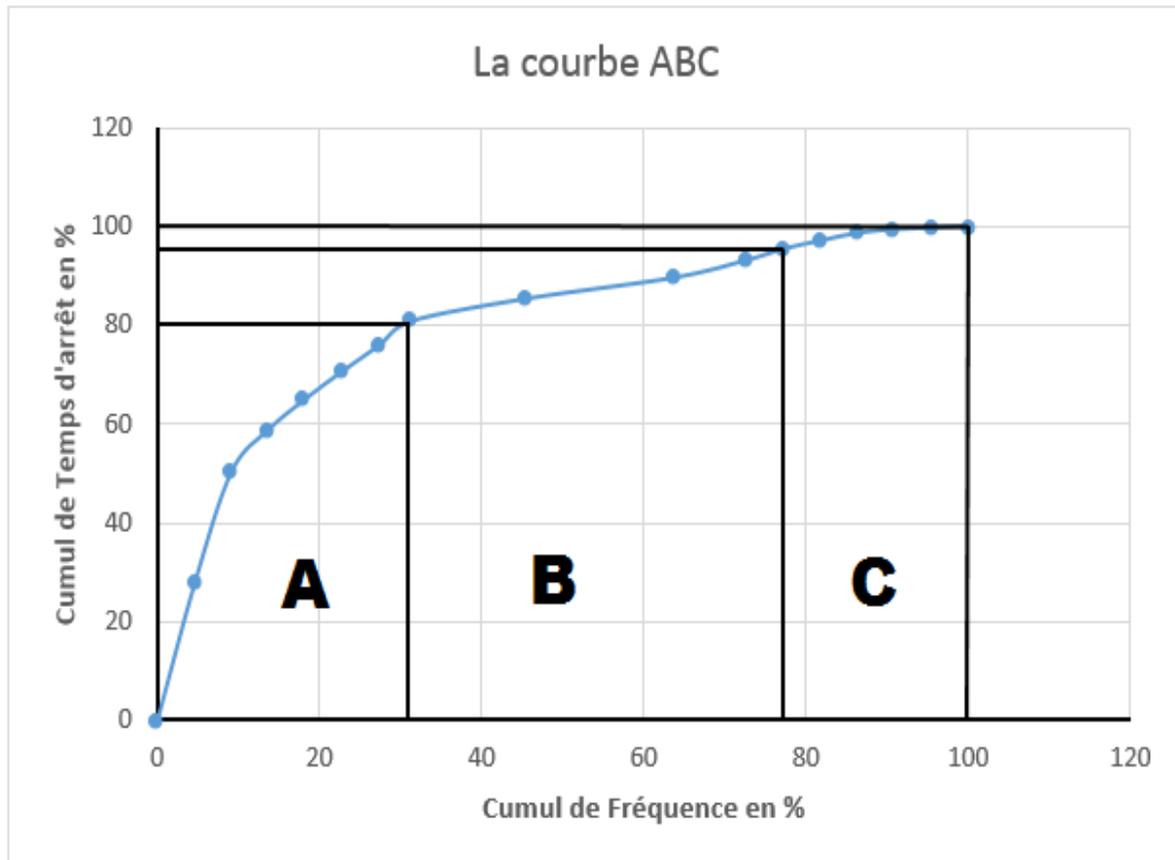


Figure IV-1 : La courbe d'ABC (courbe de Pareto).

Interprétation de la courbe :

Selon cette figure, la courbe ABC est composée de trois zones :

- 1) **La zone A : 80,65 %** des heures d'arrêt représentent **31,18 %** des défaillances. Cette zone renferme les équipements qui présentent les plus longues périodes de dysfonctionnement suite aux : Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8, Compteur d'énergie travée 220kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrement des énergies active et réactive, Perte de communication protections travée 220kV travée ligne ORG, Baisse Pression GAZ SF6 sur TC (travée ligne ORG PH0 et travée ligne MTL PH 8), Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique, Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01.
- 2) **La zone B : 14,75 %** des heures d'arrêt représentent **46,09 %** des défaillances. Il s'agit d'une zone qui présente des éléments moins perturbés que ceux de la zone A et qui sont mentionnés dans le tableau (IV-2).

3) **La zone C : 4,60 %** des heures d'arrêt représentent **22,73 %** des défaillances. Cette zone renferme les éléments les moins perturbés par rapport aux deux autres (tableau IV-2).

Pour améliorer la qualité de service des équipements figurés dans la zone A, on doit :

- Appliquer la maintenance préventive systématique pour les équipements cités précédemment.
- Prévoir un stock des pièces de rechange des organes des équipements cités précédemment.
- Programmer des cycles de formation spécialisée pour les techniciens du service maintenance.

IV.3.2 Analyse FMD :

IV.3.2.1 Etude de la fiabilité :

Au tableau ci-dessous (IV-3), les TBF (temps de bon fonctionnement) ont été classés par ordre croissant en fonction de la fonction de répartition $F(t)$, la fonction de répartition $F(t)$ a été calculée en utilisant la méthode des rangs moyens où :

$$F(t) = \frac{N_i}{N+1} \quad (\text{Dans notre cas } 20 < N=22 < 50) \text{ pour le calculer de la fonction de réparation } F(t).$$

Nous pouvons utiliser le papier de Weibull ou le logiciel Minitab19 afin de tracer la courbe $F(t)$ en fonction de TBF.

Tableau IV-3 : Estimation de la fonction de répartition

Ni	TBF (h)	F(t)
1	96	0,04347826
2	192	0,086956521
3	216	0,130434782
4	240	0,173913043
5	240	0,217391304
6	288	0,260869565
7	408	0,304347826
8	528	0,347826087
9	648	0,391304347
10	768	0,434782608

11	792	0,478260869
12	840	0,52173913
13	864	0,565217391
14	912	0,608695652
15	984	0,652173913
16	984	0,695652173
17	1080	0,739130434
18	1152	0,782608695
19	1224	0,826086956
20	1536	0,869565217
21	1584	0,913043478
22	1656	0,956521739

La représentation graphique de la loi de Weibull sur le logiciel Minitab19 est illustrée dans la figure suivante (IV-2) :

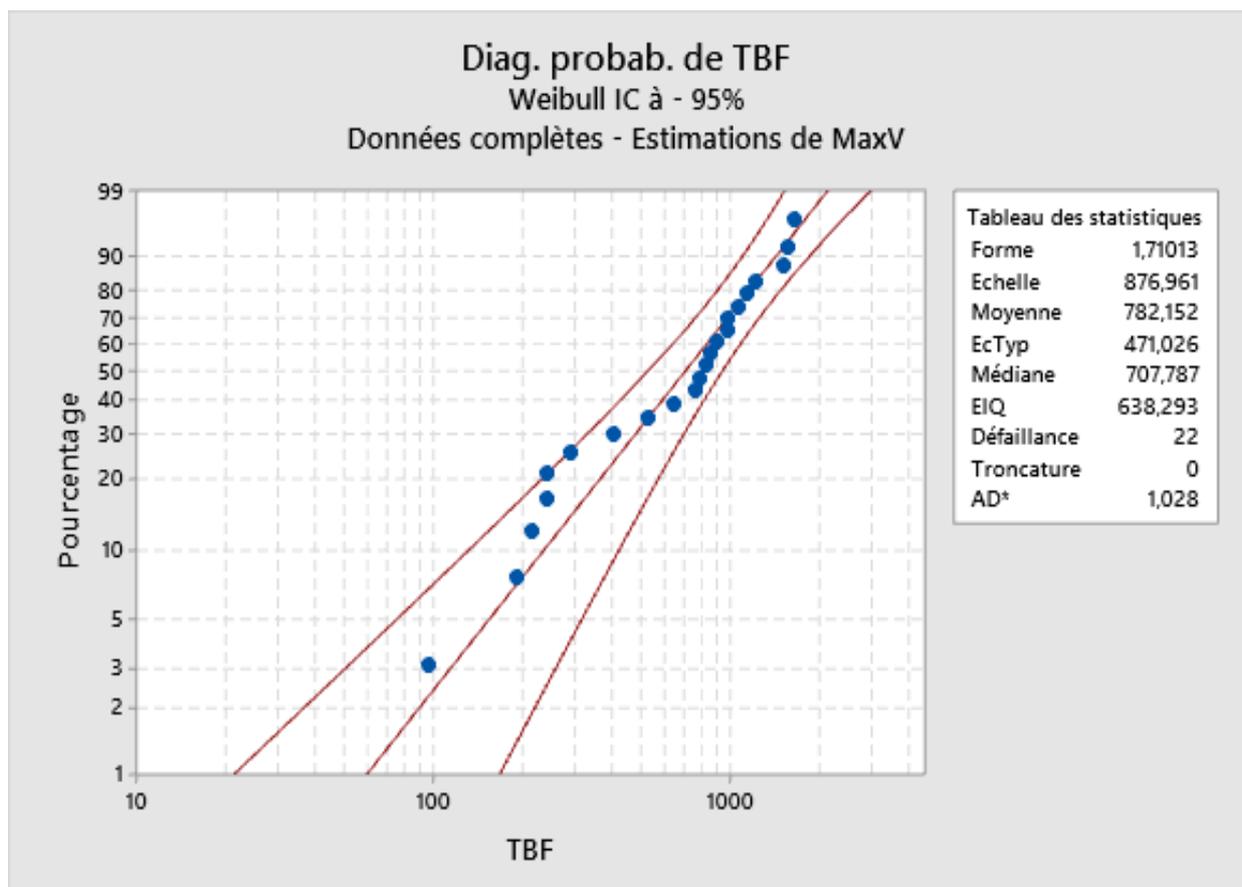


Figure IV-2 : Graphe de Weibull

IV.3.2.1.1 Estimation des paramètres de la loi de Weibull :

Selon la représentation graphique de la loi de Weibull, on peut extraire les paramètres essentiels de la loi de Weibull qui sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV-4 : Les paramètres de la loi Weibull

Les paramètres	La valeur
Paramètre de forme Beta (β)	1.71
Paramètre d'échelle Eta (η)	876.961
Paramètre de position Gamma (γ)	0

IV.3.2.1.2 Test de Kolmogorov Smirnov :

Avant de confirmer les résultats obtenus précédemment, l'hypothèse doit être testée pour déterminer si le modèle proposé peut être accepté ou rejeté. Ainsi, le test de Kolmogorov-Smirnov est utilisé pour calculer l'écart point par point entre deux fonctions : la fonction de répartition théorique $F_e(t)$ et la fonction de répartition réelle $F(t)$. Par la suite, nous utilisons la valeur absolue maximale de D_n .max et la comparons à D_n,α , qui se trouve dans la table de Kolmogorov-Smirnov (**Annexe tab-1**).

- Si D_n .max $>$ D_n,α l'hypothèse du modèle théorique est refusée.
- Si D_n .max $<$ D_n,α l'hypothèse du modèle théorique est acceptée

$$D_{ni} = |F_e(t) - F(t)|$$

La fonction de répartition réelle $F(t)$ données par :

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

La fonction de répartition théorique $F_e(t)$, donné par l'équation suivante :

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

Le tableau ci-dessous présente les résultats de comparaison entre les deux fonctions de réparation :

Tableau IV-5 : Calcul de l'écart entre $F(t)$ et $F_e(t)$

N°	TBF (h)	F(t)	$F_e(t)$	Dni
1	96	0,0434782	0,0225037	0,0209745
2	192	0,0869565	0,0717595	0,015197
3	216	0,1304347	0,0870546	0,0433801

4	240	0,1739130	0,1033232	0,0705898
5	240	0,2173913	0,1033232	0,1140681
6	288	0,2608695	0,1383950	0,1224745
7	408	0,3043478	0,2367956	0,0675522
8	528	0,3478260	0,3429267	0,0048993
9	648	0,3913043	0,449027	0,0577227
10	768	0,4347826	0,5493318	0,1145492
11	792	0,4782608	0,5683266	0,0900658
12	840	0,5217391	0,6050562	0,0833171
13	864	0,5652173	0,6227548	0,0575375
14	912	0,6086956	0,6567473	0,0480517
15	984	0,6521739	0,7040776	0,0519037
16	984	0,6956521	0,7040776	0,0084255
17	1080	0,7391304	0,7601568	0,0210264
18	1152	0,7826086	0,7969623	0,0143537
19	1224	0,8260869	0,8294147	0,0033278
20	1536	0,8695652	0,9262851	0,0567199
21	1584	0,9130434	0,9359178	0,0228744
22	1656	0,9565217	0,9484649	0,0080568

Selon le tableau IV-5, on a $D_{n,\max} = 0,1224745$ et d'après le tableau de KOLMOGOROV SMIRNOV $D_{n,\alpha} = D_{6,0.05} = 0.521$.

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

IV.3.2.1.3 Détermination de l'MTBF :

Afin de calculer l'MTBF, il est nécessaire de commencer par établir la valeur de A.

En Annexe le tableau tab-2, les valeurs de A ont été obtenues en utilisant les valeurs de beta β .

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

Avec : $A = 0,8922$ donc : $MTBF = 0,8922 * 876,961 + 0$

$$MTBF = 782,42 \text{ h}$$

IV.3.2.1.4 Détermination de la densité de probabilité f(t) :

La densité de probabilité f(t) est exprimée par la formule suivante :

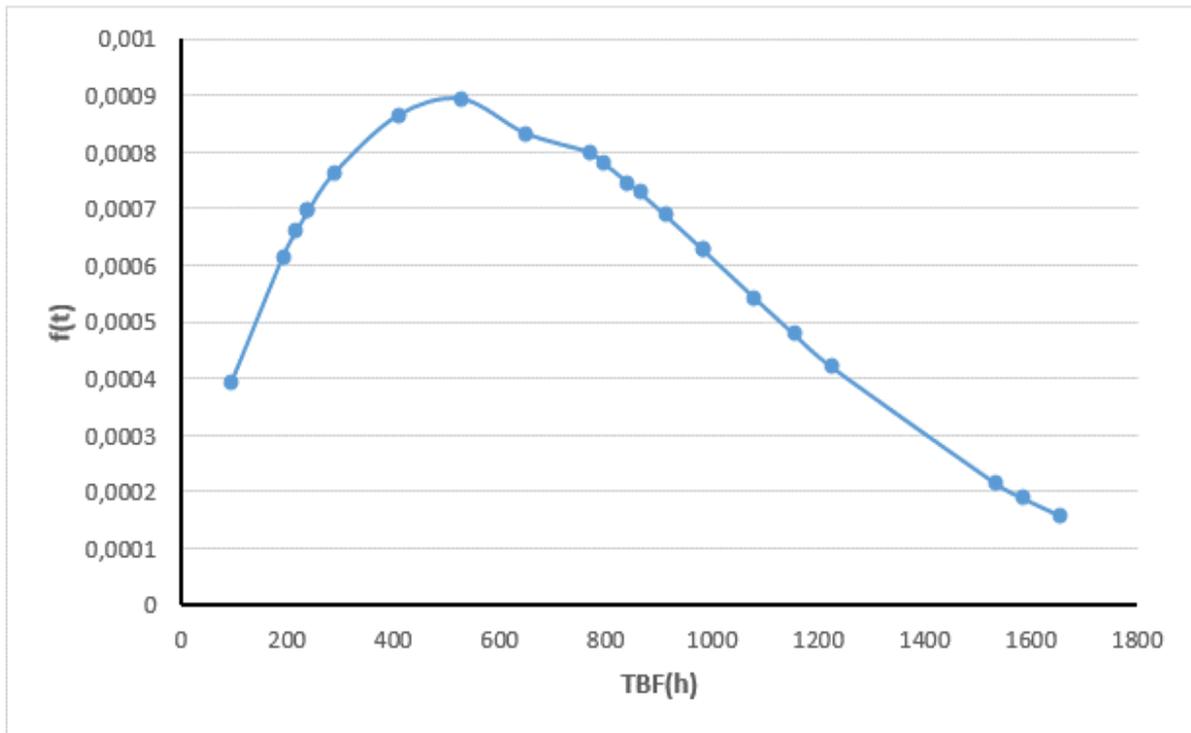
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Le tableau (IV-6) présente les calculs de la densité de probabilité $f(t)$ en fonction de TBF :

Tableau IV-6 : La densité de probabilité $f(t)$

N°	TBF (h)	$f(t)$
1	96	0,000396303
2	192	0,000615607
3	216	0,000658274
4	240	0,000696764
5	240	0,000696764
6	288	0,000762038
7	408	0,000864389
8	528	0,000893683
9	648	0,000833359
10	768	0,000799766
11	792	0,000782978
12	840	0,000746918
13	864	0,000727860
14	912	0,000688192
15	984	0,000626187
16	984	0,000626187
17	1080	0,000542198
18	1152	0,000480515
19	1224	0,000421469
20	1536	0,000213989
21	1584	0,000189975
22	1656	0,000157810

La figure suivant (IV-3) illustre la représentation graphique de la densité de probabilité $f(t)$ en fonction de TBF.

Figure IV-3 : La densité de probabilité $f(t)$ en fonction de TBF**Explication :**

La figure IV-3 représente la courbe de la densité de probabilité $f(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Nous remarquons bien que la fonction de densité de probabilité augmente en fonction de TBF jusqu'au point $TBF=528$ h, puis la courbe diminue progressivement. Cette variation de $f(t)$ suggère que les dispositifs de l'étage 220 kV du poste de transformation HTB que nous avons étudiés sont actuellement à la fin de la phase de la zone de maturité (courbe de baignoire).

IV.3.2.1.5 Fonction de répartition $F(t)$:

La fonction de répartition $F(t)$ est donnée par la formule suivante :

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

Les calculs de la fonction de répartition $F(t)$ en fonction de TBF sont résumés dans le tableau (IV-7).

Tableau IV-7 : La fonction de répartition $F(t)$

N°	TBF (h)	F(t)
1	96	0,0225037
2	192	0,0717595
3	216	0,0870546

4	240	0,1033232
5	240	0,1033232
6	288	0,1383950
7	408	0,2367956
8	528	0,3429267
9	648	0,449027
10	768	0,5493318
11	792	0,5683266
12	840	0,6050562
13	864	0,6227548
14	912	0,6567473
15	984	0,7040776
16	984	0,7040776
17	1080	0,7601568
18	1152	0,7969623
19	1224	0,8294147
20	1536	0,9262851
21	1584	0,9359178
22	1656	0,9484649

La figure suivante (IV-4) représente le graphe de la fonction de répartition $F(t)$ en fonction de TBF.

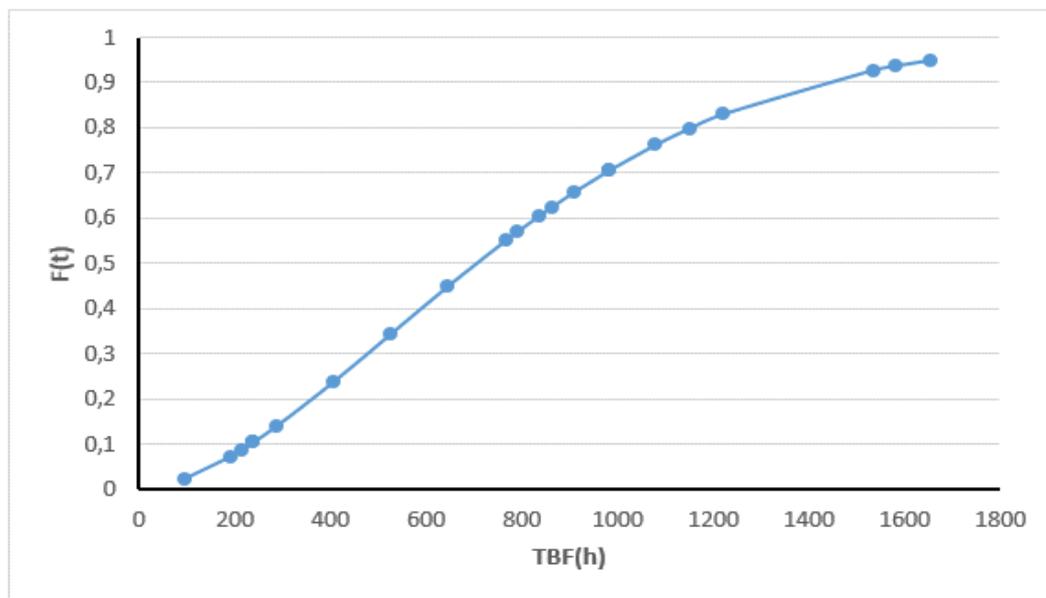


Figure IV-4 : La fonction de répartition $F(t)$ en fonction de TBF

Explication :

La figure IV-4 représente la courbe de la fonction de répartition $F(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Cette courbe démontre que la fonction de répartition croît proportionnellement au TBF, ce qui signifie que la probabilité de défaillance augmente à mesure que le TBF s'accroît.

IV.3.2.1.6 Fonction de fiabilité $R(t)$:

La fonction de fiabilité $R(t)$ est donnée par la formule suivante :

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

Le tableau (IV-8) représente les calculs de la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction de TBF :

Tableau IV-8 : La fonction de fiabilité $R(t)$

N°	TBF (h)	R(t)
1	96	0,9774962
2	192	0,9282404
3	216	0,9129453
4	240	0,8966767
5	240	0,8966767
6	288	0,8616049
7	408	0,7632043
8	528	0,6570732
9	648	0,5509279
10	768	0,4506681
11	792	0,4316733
12	840	0,3949437
13	864	0,3772451
14	912	0,3432526
15	984	0,2959223
16	984	0,2959223
17	1080	0,2398431
18	1152	0,2030376
19	1224	0,1705852
20	1536	0,0737148
21	1584	0,0640281
22	1656	0,0515350

La représentation graphique de la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction de TBF est illustrée dans la figure suivante (IV-5).

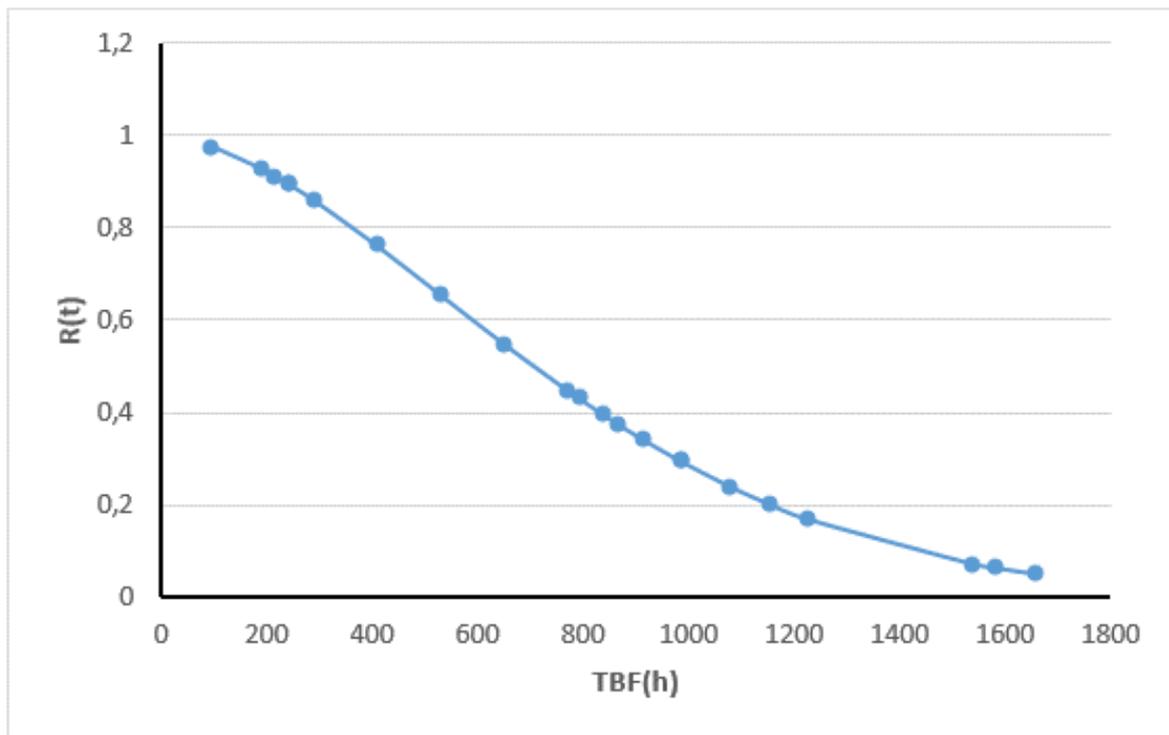


Figure IV-5 : Fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction de TBF

Explication :

La figure (IV-5) illustre la relation entre la courbe de fiabilité $R(t)$ et le temps de bon fonctionnement (TBF). Cette courbe montre une diminution de la fiabilité $R(t)$ en fonction du TBF, soulignant ainsi la nécessité de prendre des décisions cruciales et de choisir judicieusement la politique de maintenance, en particulier en renforçant la maintenance systématique, en ajustant les intervalles d'entretien.

IV.3.2.1.7 Taux de défaillance $\lambda(t)$:

Taux de défaillance $\lambda(t)$ exprimé comme suit :

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

Les calculs de la fonction du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction de TBF sont résumés dans le tableau (IV-9).

Tableau IV-9 : La fonction du taux de défaillance $\lambda(t)$

N°	TBF (h)	$\lambda(t)$
1	96	0,000405
2	192	0,000663
3	216	0,000721
4	240	0,000777
5	240	0,000777
6	288	0,000884
7	408	0,001132
8	528	0,001360
9	648	0,001572
10	768	0,001774
11	792	0,001813
12	840	0,001891
13	864	0,001929
14	912	0,002004
15	984	0,002116
16	984	0,002116
17	1080	0,002260
18	1152	0,002366
19	1224	0,002470
20	1536	0,002902
21	1584	0,002967
22	1656	0,003062

La figure ci-dessous (IV-6) illustre le diagramme de la fonction entre le taux de défaillance $\lambda(t)$ et TBF.

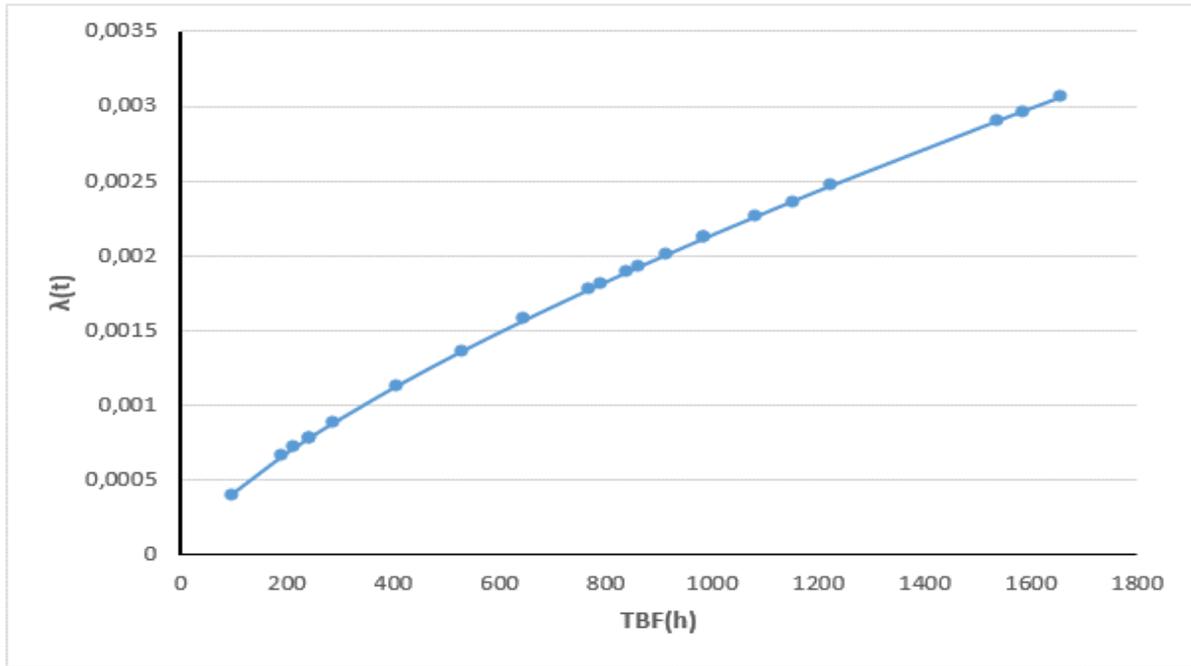


Figure IV-6 : La fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction de TBF

Explication :

La courbe de la figure (IV-6) illustre l'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement (TBF). Nous avons enregistré une augmentation négligeable du taux de défaillance $\lambda(t)$ par rapport au TBF, ce qui suggère que la maintenance améliorative serait préférable à appliquer.

IV.3.2.1.8 Calcul de $R(t)$, $F(t)$ et $\lambda(t)$ en fonction de MTBF :

On a la moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF= **782,42 h**, en remplaçant, nous avons trouvé donc :

$$R(\text{MTBF}) = e^{-\left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{782,42-0}{876,961}\right)^{1,71}} = 0,4392 = \mathbf{43,92\%}$$

$$F(\text{MTBF}) = 1 - R(t) = 1 - 0,4392 = 0,5608 = \mathbf{56,08\%}$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{B}{\eta} \left(\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1,71}{876,961} \left(\frac{782,42-0}{876,961}\right)^{1,71-1} = \mathbf{0,00179 \text{ h}^{-1}}$$

Interprétation des résultats :

Après avoir examiné les courbes de $R(\text{TBF})$, $F(\text{TBF})$ et $\lambda(\text{TBF})$, nous avons déduit qu'il y a un grand souci au niveau de l'exploitation et de la maintenance de l'étage étudiée. Et pour améliorer la fiabilité de ce système, l'entreprise doit mettre en place une politique de maintenance plus efficace afin de réduire les temps d'arrêt. Il est crucial de prendre en charge

sérieusement toutes les anomalies avant qu'elles ne se transforment en défaillances. Atteindre cet objectif nécessitera une augmentation du nombre d'entretiens préventifs, ainsi qu'une préparation adéquate du personnel (formation spécialisée) et des ressources matérielles (outils et pièces de sécurité nécessaires).

IV.3.2.2 Etude de la maintenabilité :

La maintenabilité est donnée par la relation suivante :

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

Taux de réparation μ est exprimé par la formule suivante :

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

Avec :
$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = \frac{305}{22} = 13,86 \text{ h}$$

Donc : $\mu = 0.0721 \text{ h}^{-1}$

Les calculs de maintenabilité du système en fonction du temps de réparation (TTR) sont résumés dans le tableau ci-dessous (IV-10).

Tableau IV-10 : Le calcul de la maintenabilité

N°	TTR (h)	M(t)
1	1	0,0695621
2	1	0,0695621
3	1	0,0695621
4	2	0,1342854
5	2	0,1342854
6	3	0,1945063
7	3	0,1945063
8	4	0,2505382
9	5	0,3026724
10	5	0,3026724
11	5	0,3026724
12	5	0,3026724
13	7	0,3963133
14	7	0,3963133
15	8	0,4383070
16	15	0,6609134
17	16	0,6845010

18	17	0,7064478
19	19	0,7458676
20	26	0,8465836
21	69	0,9930907
22	84	0,9976571

La courbe de la fonction de maintenabilité en fonction du TTR est illustrée dans la figure suivante (IV-7).

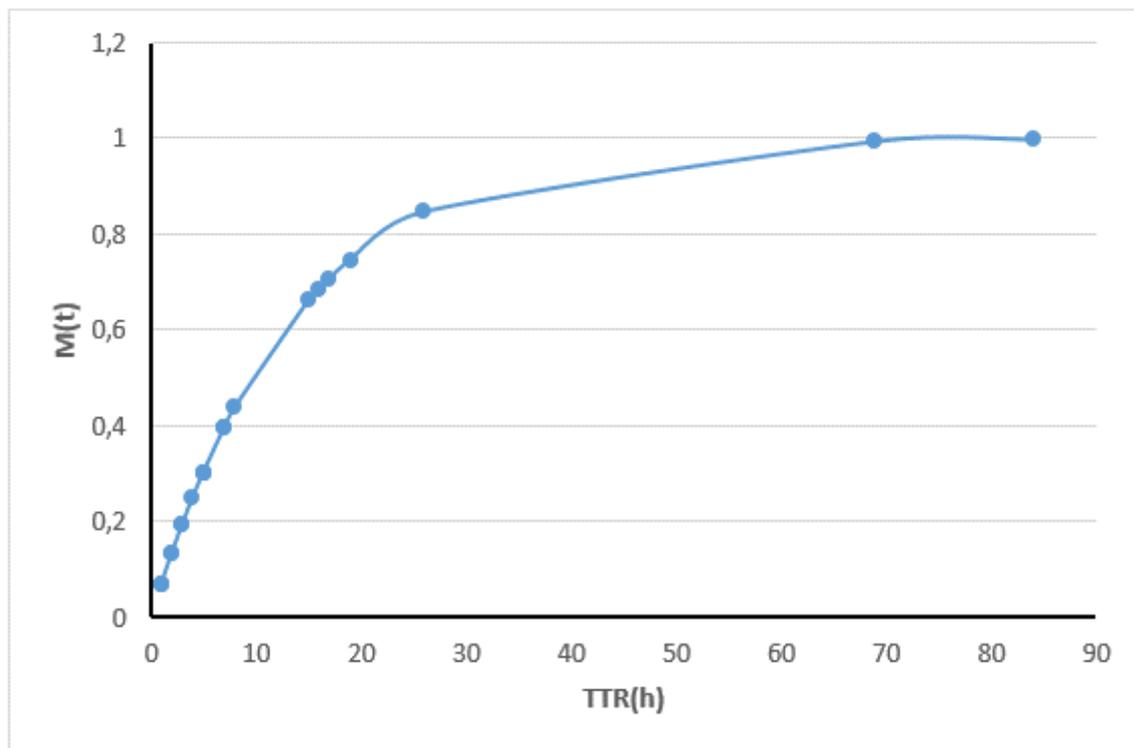


Figure IV-7 : La fonction de la maintenabilité $M(t)$ en fonction de TTR

Explication :

Selon la figure IV-7, on observe une augmentation de la fonction de maintenabilité en relation avec le TTR, c'est-à-dire l'aptitude pour maintenir le système est en proportionnalité avec le temps de réparation (TTR). Ce qui signifie les efforts remarquables du personnel de l'entreprise en termes d'investissement pour le matériel de réparation ainsi que les formations des agents de maintenance et d'exploitation.

V.3.2.3 Etude de la disponibilité :

V.3.2.3.1 Disponibilité instantanée :

Disponibilité instantanée est donnée par la relation suivante :

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

Et

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{782.42} = \mathbf{0.0012 \text{ h}^{-1}}$$

$$\mu = \mathbf{0.0721 \text{ h}^{-1}}$$

Les calculs de disponibilité instantanée du système en fonction du temps de réparation (TTR) sont présentés dans le tableau ci-dessous (IV-11) :

Tableau IV-11 : Le calcul de la disponibilité instantanée

N°	TTR (h)	D(t)
1	1	0,9988429
2	1	0,9988429
3	1	0,9988429
4	2	0,9977676
5	2	0,9977676
6	3	0,9967683
7	3	0,9967683
8	4	0,9958396
9	5	0,9949766
10	5	0,9949766
11	5	0,9949766
12	5	0,9949766
13	7	0,9934292
14	7	0,9934292
15	8	0,9927365
16	15	0,9890811
17	16	0,9886957
18	17	0,9883376
19	19	0,9876955
20	26	0,9860633
21	69	0,9837330
22	84	0,9836635

La figure ci-dessous (IV-8) illustre la fonction de disponibilité instantanée en fonction de TTR.

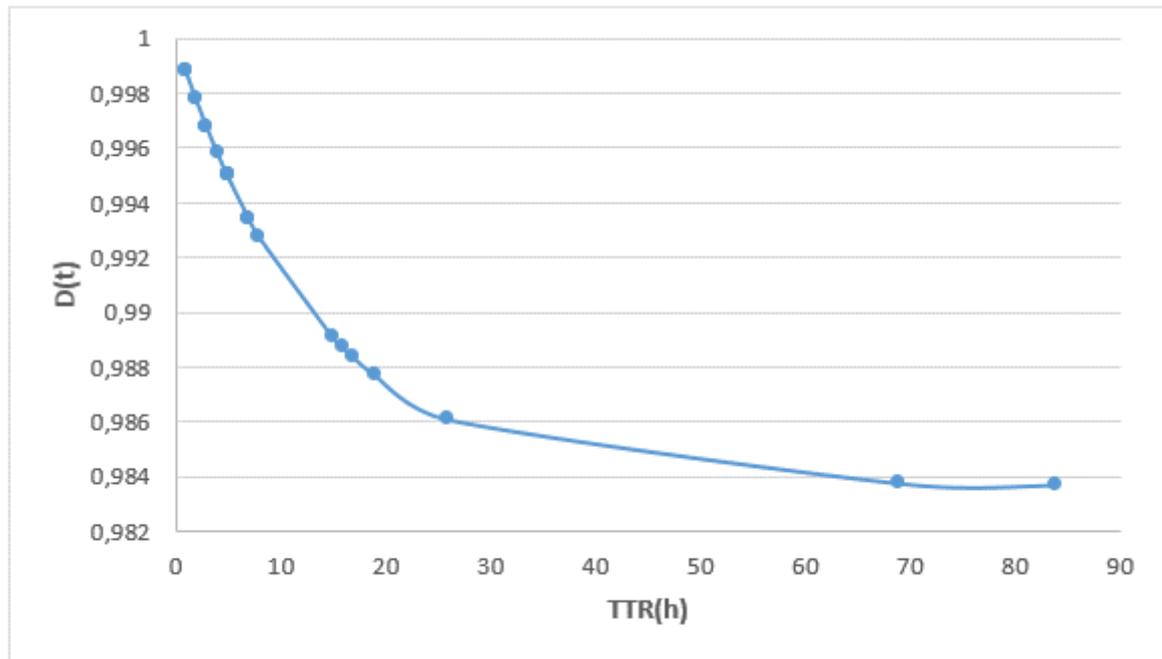


Figure IV-8 : La fonction de la disponibilité instantanée en fonction de TTR

Selon la figure IV-8, nous avons observé que la fonction de la disponibilité instantanée est décroissante en fonction du TTR. Par conséquent, pour améliorer la disponibilité du système analysé, il est nécessaire de réduire le nombre d'arrêts et de raccourcir la durée des interventions.

V.3.2.3.2 Disponibilité intrinsèque :

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

$$D_i = \frac{782.42}{782.42 + 13.86} = 0,9825$$

Donc :

$$D_i = 98,25\%$$

Ce résultat de la disponibilité intrinsèque est un très bon signe pour la maintenance et l'exploitation, il indique une excellente maintenabilité grâce à des efforts remarquables établies par les services de Maintenance et d'exploitation en matière de matériels de travail et de compétences existantes dans cette entreprise, ce qui nous a déjà mentionnée dans la partie maintenabilité.

V.3.3 Application de La méthode AMDEC :

Pour bien analyser les pannes d'un système, il est recommandé d'utiliser la méthode AMDEC, où il est essentiel de bien identifier les modes, les causes et les effets de chaque défaillance. Finalement et le plus important dans cette méthode, il faut calculer la **criticité** de chaque défaillance à partir de cette équation :

$$C = F \times G \times D$$

- F : fréquence de la défaillance
- G : gravité de la défaillance
- D : probabilité de non détection de la cause de la défaillance

Tableau IV-12 : Niveaux de criticité

Niveau de criticité	Définition
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification Maintenance corrective
$10 \leq C < 18$ Criticité moyenne	Amélioration des performances Maintenance préventive systématique
$18 \leq C < 27$ Criticité élevée	Surveillance particulière Maintenance préventive conditionnelle
$27 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complète de l'équipement

L'application de la méthode AMDEC sur l'historique des pannes de notre système est résumée dans le tableau IV-13 au-dessous.

Tableau IV-13 : L'analyse par méthode AMDEC

Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Les indices de la criticité			La criticité (C)
			F	G	D	
Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8	<ul style="list-style-type: none"> • Troubles électriques et mécaniques. • Mise en œuvre médiocre de la maintenance • Disfonctionnement extérieur (des signes de corrosion, de surchauffe...) • Surcharge électriques 	La coupure de courant et le risque d'explosion du disjoncteur.	2	3	1	6
Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse			2	3	1	6
Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01	<ul style="list-style-type: none"> • Détérioration des contacts du relais. • Pénétration d'eau due à la dégradation de l'étanchéité du boîtier relais, entraînant la détérioration des contacts du relais. • Défaillance du flotteur. 	Arrêt du TR ou risque d'explosion du TR.	1	4	3	12
Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8.	<ul style="list-style-type: none"> • Joint défectueux • Vieillesse des composants • Mauvais entretien 	Risque d'explosion TC.	1	4	4	16
Perte de communication protections travées 220 kV travée ligne ORG	<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance des équipements de télécommunication 	Travées non sécurisées.	1	4	3	12

	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise qualité du signal • Problème support télécom 					
Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique.	<ul style="list-style-type: none"> • Cisaillement pièce de transmission mécanique. • Corrosion pièce de transmission • Maintenance inadéquate • Défaillance du système de commande et de protection • Défaillance des composants internes • Conditions environnementales 	Mauvaise protection de la travée.	1	3	2	6
Refus d'ouverture et de fermeture Sectionneur de barre 220 kV travée Poste HRM			1	2	2	4
Refus de fermeture sectionneur ligne 220KV travée ligne HRM			1	2	2	4
Manque courant continu sur protection max I travée TR N°01	<ul style="list-style-type: none"> • Problèmes de câblage ou de connexion • Court-circuit ou surcharge 	Travée non protégée.	1	3	2	6
Anomalie au niveau du système de refroidissement au TR N°02	<ul style="list-style-type: none"> • Moteurs ventilos défaillants. • Problème d'installation électrique système de refroidissement. 	Manque de refroidissement et élévation de température anormale.	1	3	4	12

Baisses de pression du gaz SF6 sur des TC	<ul style="list-style-type: none"> • Fuites de gaz SF6 	Risque incendie et d'explosion TC et disjoncteur.	3	3	4	36
Baisse de pression du gaz SF6 Sur disjoncteur			1	3	4	12
Compteur d'énergie travée 220 kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrement des énergies active et réactive	<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance matérielle • Défaillance logicielle • Défaillance du système de mesure 	Manque de données précises sur les gains et les pertes d'énergie (Bilan énergétique et financier erroné).	1	4	3	12
Apparition signalisation alarme trouble sur protection max I 220 kV travée TR N°02	<ul style="list-style-type: none"> • Défaillance des composants • Défauts électriques et mécaniques 	Perturbation réseau et dégradation qualité d'énergie	2	3	2	12

Interprétation des résultats :

Selon le tableau précédent (IV-13), nous avons observé que la criticité des défaillances varie de 4/64 à 36/64. Afin d'assurer le bon fonctionnement du système, le service de maintenance doit mettre en œuvre les mesures suivantes

Une maintenance sur les anomalies des équipements qui ont un indice de criticité ≥ 9 :

- Baisse de pression du gaz SF₆ sur des TC et sur disjoncteurs.
- Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8.
- Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01.
- Perte de communication protections travées 220 kV travée ligne ORG.
- Anomalie au niveau du système de refroidissement au TR N°02.
- Compteur d'énergie travée 220 kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrements des énergies active et réactive.
- Apparition signalisation alarme trouble sur protection max I 220 kV travée TR N°02.

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

- Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8.
- Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse.
- Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique.
- Manque courant continu sur protection max I travée TR N°01
- Refus d'ouverture et de fermeture Sectionneur de barre 220 kV travée Poste HRM
- Refus de fermeture sectionneur ligne 220KV travée ligne HRM

Comparaison entre les résultats des deux méthodes ABC et AMDEC :

À la suite de l'analyse de l'historique des pannes par les deux méthodes ABC et AMDEC. Nous avons constaté que les résultats obtenus à partir de ces deux méthodes sont similaires et nous avons pu identifier les éléments les plus perturbés dans le système étudié en éliminant les défaillances suivantes :

- Baisse de pression du gaz SF₆ sur TC (travée ligne ORG PH0 et travée ligne MTL PH 8).
- Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8.
- Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01.
- Perte de communication protections travées 220 kV travée ligne ORG.
- Compteur d'énergie travée 220 kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrements des énergies active et réactive.

V.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons analysé l'historique des défaillances de l'étage 220 kV du poste de transformation HTB situé au sein du SONELGAZ transport de l'électricité (STE) poste de Ghardaïa via les méthodes d'analyse de la fiabilité du système ABC, FMD et AMDEC.

Nous avons tracé la courbe ABC et déterminer les équipements les plus perturbées afin de les prioriser dans le plan d'action optimisé, après nous avons établi l'étude FMD, dont nous avons tracé la courbe de Weibull à l'aide du logiciel Mnitab19 et calculé les indicateurs importantes et principaux de la maintenance, notamment : l'MTBF, la fonction de répartition, la fonction de fiabilité, la fonction de maintenabilité et la fonction de disponibilité.

Finalement, pour valider les résultats de la méthode ABC, nous avons réalisé une autre analyse qui repose également sur l'historique des défaillances du système électromécanique en question, appelée méthode AMDEC.

Après avoir comparé les deux méthodes, nous avons pu repérer les types de défaillances qui sont particulièrement critiques et qui entraînent la plupart des arrêts de l'étage 220kV étudié, ce qui nous permettra de mettre en place une politique de maintenance appropriée.

Conclusion générale :

La maintenance industrielle joue un rôle crucial dans la réponse à tous les besoins des grandes entreprises, car elle vise à améliorer la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité des systèmes électromécaniques, tout en réduisant les dysfonctionnements et les temps d'arrêt.

Afin d'accomplir notre travail, nous avons effectué un stage au niveau de l'unité SONELGAZ - Transport de l'électricité (STE) Ghardaïa, afin de nous permettre d'enrichir nos connaissances dans le domaine du réseau électrique particulièrement l'étage 220kV du poste de transformation électrique HTB. Ce stage nous a permis aussi d'acquérir une perspective plus étendue sur le domaine de la maintenance industrielle dans tous ses aspects, et cela nous a également donné l'occasion pour approfondir nos connaissances générales sur les équipements essentiels de l'entreprise. Grâce à ce stage pratique, nous avons réussi à extraire l'historique des pannes de notre système sélectionné pour l'étude.

A travers de cet historique, nous avons pu mettre en œuvre et appliquer toutes nos connaissances acquises, notamment les méthodes d'analyse couramment utilisées en maintenance, telles que la méthode ABC, l'étude FMD et la méthode AMDEC afin d'optimiser la maintenance appliquée sur le système étudié.

Tout d'abord, nous avons utilisé la méthode de Pareto (courbe ABC) afin de déterminer les éléments les plus responsables des arrêts remarquables. Selon nos résultats, **80,65 %** des temps d'arrêt sont causés par **31,18 %** des défaillances limitant la zone A la plus critique par rapport aux autres zones (B et C).

Par la suite, nous avons effectué une analyse FMD pour déterminer et tracer la fonction de défaillance, la fonction de fiabilité, le taux de défaillance, la fonction de maintenabilité et la fonction de disponibilité. Suite à cette analyse, nous avons constaté que la fiabilité du système est extrêmement faible et que la fonction de taux de défaillance augmente, ce qui suggère que le système est à l'approche de la fin de sa période de maturité.

Après l'application de la méthode AMDEC, où nous avons calculé l'indice de criticité de chaque élément du système pour bien choisir le type de maintenance (préventive ou corrective) adéquat pour chaque élément.

Finalement, pour bien bénéficier de cette analyse, nous proposons les conseils suivants pour optimiser la maintenance de l'étage 220 kV du poste de transformation électrique HTB, diminuer l'MTTR et augmenter l'MTBF :

Conclusion générale

- Il est nécessaire que le service de maintenance intensifie la maintenance préventive conditionnelle sur les éléments de la zone A : (Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8, Compteur d'énergie travée 220kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrement des énergies active et réactive, Perte de communication protections travée 220kV travée ligne ORG, Baisse Pression GAZ SF6 sur TC (travée ligne ORG PH0 et travée ligne MTL PH 8), Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique, Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01).
- Prévoir un stock des pièces de rechange des organes des équipements cités précédemment à la zone A.
- Programmer des cycles de formation pour les techniciens du service maintenance sur les équipements de l'étage 220 kV les plus perturbés.
- Créer et mettre en place une stratégie de maintenance préventive afin de préserver la fiabilité du système.
- Après avoir réalisé la méthode de AMDEC, nous proposons la politique de maintenance suivante :

- ✓ Renforcer la maintenance préventive pour éviter les anomalies suivantes :

La baisse de pression du gaz SF6 sur TC et sur disjoncteur, Fuite d'huile importante au niveau du TC 220 kV travée ligne ORG PH8, Anomalie sur relais Buchholz TR 220/60 kV N°01, Perte de communication protections travées 220 kV travée ligne ORG, Anomalie au niveau du système de refroidissement au TR N°02, Compteur d'énergie travée 220 kV travée ligne HRM en anomalie /absence des enregistrements des énergies active et réactive, Apparition signalisation alarme trouble sur protection max I 220 kV.

- ✓ Effectuer une maintenance corrective adéquate pour les anomalies suivantes :

Refus de fermeture disjoncteur 220 kV travée TR N°02 PH 8, Bobine de déclenchement disjoncteur 220 kV travée TR N°01 Défectueuse, Refus d'ouverture sectionneur de barre 220 kV N°01 travée HRM suite cisaillement pièce de transmission mécanique, Manque courant continu sur protection max I travée TR N°01, Refus d'ouverture et de fermeture Sectionneur de barre 220 kV travée Poste HRM, Refus de fermeture sectionneur ligne 220KV travée ligne HRM.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

- [1] <https://www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous>
- [2] Brahim BOUSSADA, Omar BABAOUSMAIL. Optimisation de la maintenance préventive du système de téléconduite d'un réseau électrique HTB (au sein du poste de transformation de GRTE Ghardaïa). Mémoire pour l'obtention du diplôme de master, Université de Ghardaïa, 2023.
- [3] www.grte.dz
- [4] Consigne particuliers d'exploitation du poste 220/60/30 KV Ghardaïa
- [5] L. Boufenneche Généralités sur les réseaux électriques
- [6] Bellamouchi Abdelhai, Bekkouche Moussa et Bekkouche ELhadi. Conception et simulation de lignes électriques à haute tension. Mémoire pour l'obtention du diplôme de master, Université Hamma Lakhdar- El Oued, 2020/2021.
- [7] Support de cours : CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES, Université Ibn Khaldoun Tiaret
- [8] <https://clubenergie2051.ch/2015/02/09/differents-niveaux-de-reseau-transportent-le-courant/>
- [9] SONELGAZ Prévention et Sécurité, « Prévention du Risque Electrique », Carnet de Prescriptions au Personnel du Groupe SONELGAZ, Edition 2001.
- [10] BENSALAM Ahmed Université BATNA Modes de transport, répartition et distribution de l'énergie électrique
- [11] <https://www.clicours.com/topologie-des-reseaux-electriques/>
- [12] <https://www.exoco-lmd.com/reseaux-electriques/cours-reseau-electrique/?action=dlattach;attach=493>
- [13] https://fr.wikipedia.org/wiki/Poste_%C3%A9lectrique
- [14] <https://www.legrand.fr/questions-frequentes/quel-disjoncteur-choisir-pour-protger-votre-installation-electrique>
- [15] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sectionneur>

[16] Karim HADJSAID. Technologies Des Equipements Electriques Des Postes HTB. Mémoire pour l'obtention du diplôme de master, Université de MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2017.

[17] M. BELLAOUAR Aberrahmane. *Support du cours : stratégie de maintenance*

[18] CHOUARA Nour el islam, SARTORIO Khaled. Optimisation de la maintenance pour empêcher le matériel de communication du réseau électrique HTB (à l'occasion du poste de transformation GRTE Ghardaïa). Mémoire pour l'obtention du diplôme de master, Université de Ghardaïa, 2023.

[19] M. MERZOUG Hocine. *Support du cours : technique de détection des défaillances.*

[20] <https://mobility-work.com/fr/blog/maintenance-industrielle/>.

[21] M. MERZOUG Hocine. *Support du cours : fiabilité des systèmes*

[22] <https://www.obat.fr/blog/methode-abc/>

[23] <https://blog-gestion-de-projet.com/amdec/>

[24] <https://www.certification-qse.com/methode-5m-ou-diagramme-dishikawa/>

[25] <https://blog-gestion-de-projet.com/diagramme-dishikawa/>

[26] <https://blog.hubspot.fr/sales/methode-qqoqcp#>

[27] <https://kitoutils.com/outils/qqoqcp>

[28] Dr. SAAD Mohamed. Cours **Méthodes et organisation de la maintenance**, université ibn khaldoun tiaret, 2019-2020.

[29] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/02/Kassas-Bachir.pdf>

[30] https://yard.onl/fichiers/BTS_Concept_FMD.pdf

[31] Pr. Ahmed BELLAOUAR cours **FMD**, UNIVERSITE Constantine 1, 2013-2014

[32] Chapitre I : Fiabilité, Maintenabilité et la Disponibilité, université ibn khaldoun

LES ANNEXES

Annexe tab-1

n	α 0.01	α 0.05	α 0.1	α 0.15	α 0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
6	0.618	0.521	0.470	0.436	0.410
7	0.577	0.486	0.438	0.405	0.381
8	0.543	0.457	0.411	0.381	0.358
9	0.514	0.432	0.388	0.360	0.339
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
11	0.468	0.391	0.352	0.326	0.307
12	0.450	0.375	0.338	0.313	0.295
13	0.433	0.361	0.325	0.302	0.284
14	0.418	0.349	0.314	0.292	0.274
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
16	0.392	0.328	0.295	0.274	0.258
17	0.381	0.318	0.286	0.266	0.250
18	0.371	0.309	0.278	0.259	0.244
19	0.363	0.301	0.272	0.252	0.237
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Annexe tab-2

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



إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسماؤهم:

1. الطالب (ة): بوقنة فؤاد

2. الطالب (ة): بن حمادي عبد الرزاق

تخصص: صيانة صناعية

نمنح نحن الأستاذ (ة):

الإمضاء	الصفة	الرتبة - الجامعة الأصلية	الاسم واللقب
	رئيس	جامعة غرداية MCB	بن داوي مسعود
	مصحح (1)	جامعة غرداية MAB	بلاغيث عبد الحاكم
	مؤطر	جامعة غرداية MAA	مرزوق حسين

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة ماستر الموسومة بعنوان:

Optimisation de la maintenance préventive de l'étage 220kV du poste de transformation électrique HTB (au sein du poste de transformation de STE Ghardaïa)

إمضاء رئيس القسم

العلمي عبد اللطيف
رئيس قسم الآلية
والكهروميكانيك

