

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والإلكترونيكا

Département d'Automatique et d'Electromécanique

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

**Master**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

**Thème**

Analyse et contribution à l'amélioration de la maintenance conditionnelle par thermovision d'un réseau électrique HTB (au sein du poste de transformation de GRTE -Ghardaïa)

**Présenté par :**

BELMOKHTAR Adem

DINE Said

Soutenue publiquement le 22/06/2023

Devant le jury composé de:

Mohammed Azzaoui	MCB	Université de Ghardaïa	Président
Hocine Merzoug	MAA	Université de Ghardaïa	Encadrant
Skander Bouraghda	MCB	Université de Ghardaïa	Examineur
Hemza Medoukali	MCB	Université de Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2022/2023

## **Remercîment :**

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Ensuite, notre encadreur Mr. Hocine Merzoug pour les efforts qu'il a déployés, pour nous aider, conseiller, et corriger.*

*Je remercie en particulier le groupe de travail dans GRTE et à monsieur Djamel Rouidji et Touaiti Khaled à fournir toute l'assistance possible.*

*Nos vifs remerciements également vont aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner.*

*Je remercie également tous les enseignants de département d'Automatique et d'Electromécanique de l'université de Ghardaïa ont participé à ma formation pendant tout le cycle universitaire.*

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

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes très chers parents, que Dieu leur fasse miséricorde*

*A mes très chers frères et sœurs ;*

*Toute ma famille DINE et TAHER ;*

*Et toutes mes amies et mes collègues en deuxième année de Master Maintenance industrielle, promotion 2022-2023.*

***DINE Said***

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce travail à mes parents et aux personnes qui m'ont soutenu dans mon parcours universitaire. Merci au professeur MERZOUG Hocine.*

***BELMOKHTAR Adem***

## ملخص:

خلال هذا العمل، ساهمنا في تحسين الصيانة المشروطة بناءً على تقنية التصوير الحرارية بالأشعة تحت الحمراء التي تتعامل مع حالات الفشل مثل ارتفاع درجة الحرارة والبقع الساخنة في شبكة الطاقة عالية الجهد (المحولات وقواطع الدوائر وأجهزة الفصل والشريط والموصلات وغيرها من المكونات الكهربائية) الموجودة في محطة محول الجهد STE غرداية.

في دراستنا، اعتمدنا على إحصائيات الإخفاقات المحلية عن طريق التصوير الحراري؛ يتم تحليل هذه الإحصاءات كميًا (طريقة ABC) ونوعيًا (طريقة AMDEC وطريقة QQQQCP) للمساعدة في تحسين موثوقية وكفاءة شبكة HTB، مع تقليل تكاليف الصيانة وأوقات التوقف غير المتوقعة.

**كلمات مفتاحية:** الصيانة المشروطة، الاعطاب، طريقة ABC، AMDEC، QQQQCP، التصوير الحراري.

## Résumé

Au cours de ce travail, nous avons contribué à l'amélioration de la maintenance conditionnelle basée sur la technologie de la thermovision infrarouge qui s'occupe des défaillances telles que les surchauffes et les points chauds au niveau du réseau électrique haute tension (transformateurs, disjoncteurs, sectionneurs, jeu de barre, conducteurs et autres composants électriques) situé dans le poste de transformation de tension STE Ghardaïa.

Dans notre étude, nous nous sommes appuyés sur des statistiques des défaillances localisées par imagerie thermique ; Ces statistiques sont analysées quantitativement (méthode ABC) et qualitativement (méthode AMDEC et méthode QQQQCP) afin de contribuer à améliorer la fiabilité et l'efficacité du réseau HTB, tout en réduisant les coûts de maintenance et les temps d'arrêt imprévus.

**Mots clés :** Maintenance conditionnelle, Thermovision, défaillances, méthode ABC, AMDEC, QQQQCP.

## Abstract:

During this work, we have contributed to the improvement of conditional maintenance based on infrared thermovision technology that deals with failures such as overheating and hot spots at the high voltage power grid (transformers, circuit breakers, disconnectors, busbar, conductors and other electrical components) located in the voltage transformer station STE Ghardaïa.

In our study, we relied on statistics of localized failures by thermal imaging; these statistics are analyzed quantitatively (method ABC) and qualitatively (method AMDEC and method QQQQCP) to help improve the reliability and efficiency of the HTB network, while reducing maintenance costs and unexpected downtimes.

**Keywords :** maintenance Conditionnel, Thermovision, failures, ABC method, AMDEC, QQQQCP.

**Table des matières :**

<b>Remerciement</b> .....	<b>I</b>
<b>Dédicaces</b> .....	<b>II</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>IV</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>VI</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>IX</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Présentation de l'entreprise</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1 Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2 Présentation SONELGAZ</b> .....	<b>4</b>
<b>I.3 Historique</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4 Présentation de l'entreprise (STE)</b> .....	<b>8</b>
<b>I.4.1 Les principales fonctions dans l'installation</b> .....	<b>9</b>
<b>I.4.2 Règles de protection et de sécurité à STE</b> .....	<b>10</b>
<b>I.4.3 Poste STE de Ghardaïa</b> .....	<b>10</b>
<b>I.4.4 Plan de situation du poste STE Ghardaïa</b> .....	<b>11</b>
<b>I.4.5 Schéma de description du poste Ghardaïa</b> .....	<b>12</b>
<b>I.4.6. Schéma unifilaire du poste</b> .....	<b>12</b>
<b>Chapitre II : Généralité sur les réseaux électriques HTB</b> .....	<b>14</b>
<b>II.1 Introduction</b> .....	<b>15</b>
<b>II.2 Fonctionnement des systèmes électriques</b> .....	<b>16</b>
<b>II.2. 1 Production de l'électricité</b> .....	<b>17</b>
<b>II .2.2 Transport de l'électricité</b> .....	<b>17</b>
<b>II.2.3 Répartition de l'électricité</b> .....	<b>18</b>
<b>II 2.4 Distribution de l'électricité</b> .....	<b>18</b>
<b>II.3 Structures topologiques des réseaux électriques</b> .....	<b>18</b>
<b>II.4 Niveaux de tensions</b> .....	<b>19</b>
<b>II.5 Lignes haute tension</b> .....	<b>20</b>
<b>II.6 Composants d'une ligne haute tension aérienne</b> .....	<b>21</b>
<b>II.6.1 Les pylônes</b> .....	<b>21</b>
<b>II.6.2 Les conducteurs</b> .....	<b>21</b>
<b>II.6.3 Les isolateurs</b> .....	<b>22</b>
<b>II.6.4 Câble de garde</b> .....	<b>22</b>
<b>II.6.5 Les dispositifs de mise à la terre</b> .....	<b>23</b>
<b>II.6.6 Les équipements de commande et de surveillance</b> .....	<b>23</b>

II.7 Postes électriques .....	24
II.7.1 Différents types des postes .....	24
II.7.2 Les différents éléments d'un poste électrique.....	24
II.8 Conclusion .....	25
Chapitre III : Généralité sur le contrôle non destructif et la thermovision .....	26
III.1. Introduction .....	27
III .2. Définition CND .....	27
III.3. Applications de CND .....	27
III.4. Principes de CND .....	28
III.5. Les objectifs de CND .....	28
III.5. Les types de CND .....	30
III.5.1. Le contrôle visuel .....	30
III.5.2. Ressuage.....	31
III.5.3. Magnétoscopie .....	32
III.5.4. Les contrôles ultra-sons.....	33
III.5.5. Les courants de foucault .....	34
III.5.6. La radiographie : .....	36
III .5.7. La thermographie infrarouge .....	37
III.6. Conclusion .....	44
Chapitre IV : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse .....	45
IV.1 Introduction .....	46
IV.2 Généralité sur la maintenance industrielle .....	46
IV.2.1 Définition de la maintenance .....	46
IV.2.2 Objectif de la maintenance .....	46
IV.2.3 La stratégie de maintenance .....	47
IV.2.4 Les différents types de maintenance .....	48
IV.2.5 Les niveaux de maintenance .....	54
IV.3 Les différentes méthodes d'analyse utilisées en maintenance .....	56
IV.3.1 La Méthode ABC (Diagramme de PARETO) .....	56
IV.3.2 Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité(AMDEC) .....	58
IV.3.3 Arbre de défaillances .....	61
IV.3.4 Diagramme cause-effets (ou Ishikawa ou en arête de poisson).....	64
IV.3.5 La méthode de QQQQCP.....	65
IV.4Conclusion.....	66
Chapitre V : Application des outils d'analyse sur les données de l'entreprise.....	67

<b>V.1 Introduction.....</b>	<b>68</b>
<b>V.2 Historique du point chaud.....</b>	<b>68</b>
<b>V.3 L'application des méthodes d'analyse.....</b>	<b>70</b>
<b>V.3.1 Application de la méthode de la courbe ABC (loi de pareto) .....</b>	<b>70</b>
<b>V.3.2 Application de La méthode AMDEC .....</b>	<b>73</b>
<b>V.3.3 Application de La méthode QQQCP.....</b>	<b>78</b>
<b>V.4 Conclusion .....</b>	<b>83</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>86</b>



## Liste des Figures :

Figure I.1 : Organigramme générale de SONELGAZ.....	5
Figure I.2 : Schéma organisationnelle du groupe SONELGAZ.....	7
Figure I.3 : structure générale de l'Enterprise STE.....	8
Figure I.4 : Les régions de Transport de l'Electricité.....	9
Figure I.5 : Plan de situation de poste STE Ghardaïa.....	11
Figure I.6 : Plan de masse du poste STE Ghardaïa.....	12
Figure I.7 : Schéma unifilaire du poste étage 220/60 KV.....	12
Figure I.8 : Schéma unifilaire du poste étage 60/30 kV.....	13
Figure II.1 : Structure générale d'un réseau électrique.....	15
Figure II.2 : Architecture générale d'un réseau d'énergies électrique.....	16
Figure II.3: Topologies des réseaux électriques.....	19
Figure II.4 : Ligne haute tension.....	21
Figure II.5 : Câble en cuivre nu.....	22
Figure II. 6: Conducteur en aluminium.....	22
Figure II. 7: isolateur.....	22
Figure II. 8: câble de garde .....	23
Figure II. 9: dispositifs de mise à la terre.....	23
Figure II.10: équipements de commande et de surveillance .....	23
Figure II.11 : Les différents éléments dans un poste électrique.....	25
Figure III.1 : Principe du ressuage.....	31
Figure III.2 : Principe de la magnétoscopie.....	32
Figure III.3 : Principe de contrôle par ultrasons.....	34
Figure III.4 : : Principe du CND par courants de Foucault.....	36
Figure III.5 : Principe de la radiographie.....	37
Figure III.6: Bande spectrale utilisée en thermographie IR.....	38
Figure III.7 : Image visible et thermogramme correspondant d'un rouleau de papier.....	39
Figure III.8: Tête de transformateur haute tension avec une isotherme.....	40
Figure III.9: Exemples de différentes palettes.....	41
Figure III.10: Thermomètre infrarouge.....	41

Figure III.11 : Thermovision.....	42
Figure III.12 : Caméra infrarouge.....	42
Figure III.13 : Les divers applications de la thermographie infrarouge.....	44
Figure IV.1 : Classification des types de la maintenance.....	48
Figure VI.2 : Principe de la maintenance corrective.....	49
Figure IV.3 : Principe de la maintenance préventive systématique.....	51
Figure IV.4 : Principe de la maintenance conditionnelle.....	51
Figures VI.5 : types d'analyse.....	53
Figure VI.6 : Les niveaux de la maintenance.....	55
Figures VI.7 : Courbe ABC .....	57
Figure IV.8 : Démarche de l'AMDEC.....	61
Figure IV.9 : exemple d'arbre de défaillance.....	62
Figure IV.10 : Diagramme d'Ishikawa.....	65
Figure IV.11 : Diagramme QQQCP.....	66
Figure V.1 : La courbe d'ABC (courbe de Pareto).....	72

## Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Constitution du poste STE Ghardaïa.....	11
Tableau II. 1 : Les niveaux essentiels de tension en Algérie (SONELGAZ).....	20
Tableau II. 2 : domaines de tension.....	20
Tableau IV.1: Syntaxe des arbres de défaillance.....	63
Tableau V.1 : l'historique du point chaud.....	68
Tableau V.2 : Analyse ABC (Pareto).....	71
Tableau V.3 : L'analyse du système par la méthode AMDEC.....	75
Tableau V. 4 :QQOQCP.....	79

## **Liste des abréviations :**

**THT** : Très Haute Tension.

**HT** : Haute Tension.

**KV** : Kilo Volte.

**AFNOR** : Association française de normalisation.

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

**NF** : Norme Française.

**GRTE** : Gestion du Réseau de Transport d'électricité.

**CND** : Le Contrôle Non Destructif.

**HTB** : La haute tension B.

**STE** : SONELGAZ - Transport de l'Electricité

## Introduction générale

---

### Introduction générale :

La maintenance conditionnelle est un aspect essentiel de la gestion des réseaux électriques à haute tension (HTB). Elle consiste à surveiller en temps réel l'état des équipements électriques afin de détecter les signes précurseurs des défaillances ou de problèmes potentiels. La thermo vision, également connue sous le nom d'imagerie thermique, est une technique utilisée pour capturer et analyser les images thermiques des équipements électriques.

L'objectif de cette analyse est d'étudier la contribution de la thermo vision à l'amélioration de la maintenance conditionnelle dans un réseau électrique HTB. La thermo vision permet de visualiser les variations de température des composants électriques, ce qui peut révéler des anomalies telles que des surchauffes, des connexions défectueuses ou des points chauds. Ces anomalies peuvent être des signes de problèmes potentiels, tels que des courts-circuits imminents, des défauts d'isolation ou des défaillances de vieilliance (corrosion, desserrage, ...).

En utilisant la thermo vision comme outil de surveillance, il est possible de détecter rapidement ces anomalies et d'entreprendre des actions de maintenance préventive avant que des pannes majeures ou des interruptions de service ne se produisent. Cela permet d'améliorer la fiabilité et la disponibilité du réseau électrique HTB, ainsi que de réduire les coûts liés aux réparations d'urgence et aux temps d'arrêt.

L'analyse de la thermo vision dans le cadre de la maintenance conditionnelle peut également contribuer à l'optimisation des programmes de maintenance. En identifiant les équipements qui présentent le plus grand risque de défaillance, les ressources et les efforts de maintenance peuvent être alloués de manière plus efficace. Cela permet d'optimiser les coûts de maintenance et d'assurer une utilisation plus efficace des ressources disponibles.

**En résumé**, l'utilisation de la thermo vision dans l'amélioration de la maintenance conditionnelle d'un réseau électrique HTB offre de nombreux avantages, tels que la détection précoce des anomalies, la réduction des temps d'arrêt, l'optimisation des programmes de maintenance et la minimisation des coûts. Cette analyse vise à explorer ces aspects et à mettre en évidence l'importance de la thermo vision en tant qu'outil précieux dans la gestion et la maintenance des réseaux électriques HTB.

Nous avons organisé notre mémoire en Cinq chapitres, comme suit :

**Le 1<sup>er</sup> chapitre** : consiste à présenter l'entreprise SONELGAZ et sa filiale STE dans la wilaya de Ghardaïa, où nous avons réalisé cette étude.

**Le 2<sup>ème</sup> chapitre** : contient des informations générales sur les réseaux électriques, hauts et très hauts tension.

**Le 3<sup>ème</sup> chapitre** : contient les définitions et les généralités sur le contrôle non destructif par thermovision d'un réseau électrique HTB.

## Introduction générale

---

**Le 4<sup>ème</sup> chapitre** : Nous avons présenté des normes et des notions concernant la maintenance industrielle telle que les types de maintenance, ses activités, son objectif, ainsi que les différentes méthodes d'analyse des défaillances tels que la méthode ABC, AMDEC et QQQQCP.

**Le 5<sup>ème</sup> chapitre** : application des outils d'analyse de maintenance avec les données de l'entreprise.

À la fin de notre mémoire, nous sommes arrivés à une **conclusion** générale dans laquelle nous avons résumé et interprété tous les résultats obtenus grâce à l'utilisation d'un appareil infrarouge de vision thermique pour contrôler le réseau électrique HTB. Cela contribue à améliorer la fiabilité et la disponibilité du réseau électrique, ainsi qu'à réduire les risques des pannes et les dommages humains et matériels.

# **Chapitre I**

## **Présentation de l'entreprise**

## Chapitre I : Présentation de l'entreprise



### I.1 Introduction :

SONELGAZ est spécialisée dans la production, la distribution et la commercialisation d'électricité et de gaz en Algérie. Créée en 1969, Sonelgaz est au service des citoyens algériens depuis un demi-siècle en leur fournissant la source d'énergie nécessaire à la vie quotidienne.

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 de gaz, ce qui a permis de hisser le taux de couverture en électricité à 98% pour **10494465** clients et un taux de pénétration du gaz à 65% pour **6 450 538** clients [1].

### I.2 Présentation SONELGAZ :

La société Sonelgaz a connu de nombreuses évolutions concernant son organisation et notamment sa dénomination, elle est passée d'une société qui monopolisait la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz à une société pour chaque action.

Ce changement de statut a donné à SONELGAZ la possibilité d'élargir ses activités à d'autres domaines relevant du secteur de l'énergie et aussi d'être présente par son produit hors des frontières nationales [2].



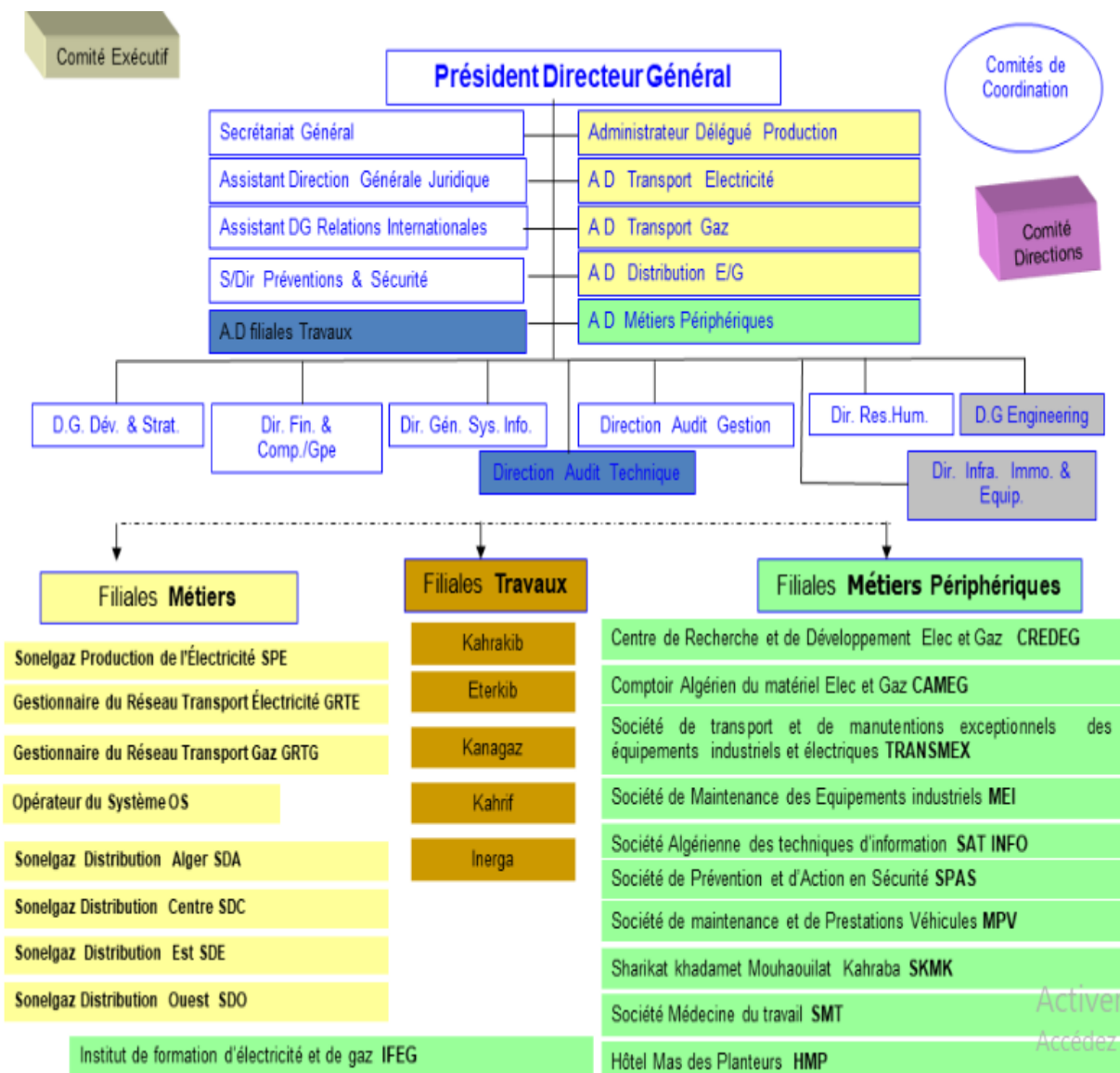


Figure I.1 : Organigramme générale de SONELGAZ.

### I.3 Historique :

- **En 1946 : Création de EGA : Electricité et Gaz Algérien.**

L'adoption de la loi N° 46-628 du 8 avril 1946 en France métropolitaine, instaurant la nationalisation des activités électriques et gazières, fut étendue à l'Algérie par la nationalisation des entreprises privées d'électricité et du gaz existantes à l'époque, consacrant la création de EGA (Electricité et Gaz d'Algérie) par décret N° 47-1002 du 5 juin 1947.

- **En 1969 : Création de SONELGAZ : société nationale d'électricité et du gaz.**

En rupture avec l'héritage colonial et afin de répondre à des choix politiques et économiques, l'année 1969 consacra la dissolution d'EGA et sa substitution par la création de SONELGAZ (Société Nationale de l'Electricité et du Gaz), par ordonnance N° 69-59 du 28 Juillet 1969.

- **En 1983 : Première restructuration : naissance des filiales travaux et de fabrication.**  
Sonelgaz opère une première restructuration. Elle donnera le jour à cinq filiales dédiées aux travaux spécialisés et à une entité de fabrication :
  - ✓ KAHRIF (électrification rurale).
  - ✓ KAHRAKIB (infrastructures et installations électriques).
  - ✓ KANAGHAZ (réalisation des réseaux gaz).
  - ✓ INERGA (Génie Civil).
  - ✓ ETTERKIB (le montage industriel).
  - ✓ AMC (fabrication des compteurs et appareils de mesure et de contrôle).
- **En 1995: SONELGAZ devient EPIC.**  
Par le décret exécutif N° 95-280 du 17 septembre 1995, la Sonelgaz devient Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial.
- **En 2002 : l'Etablissement devient une Société par Action (SPA).**  
Le 5 Février 2002, l'apparition de la loi 02-01 sur l'électricité et la distribution du gaz par canalisation qui a transformé SONELGAZ en une holding de société.
- **En 2004 : Le Groupe Industriel Sonelgaz est né.**  
**L'expansion :** Sonelgaz devient une holding de sociétés. Une partie de ses entités en charge de ses métiers de base sont érigées en filiales assurant ces activités :
  - Production d'Electricité (SPE).
  - Transport d'Electricité (STE).
  - Conduite du Système Electrique (OS)
  - Transport du Gaz (GRTG).
  - Distribution de l'Electricité et du Gaz d'Alger (SDA), du Centre (SDC), de l'Est (SDE) et enfin de l'Ouest (SDO).
- **2007 - 2009 Parachèvement de la restructuration, Le renouveau :** Toujours dans un souci d'accentuer ses performances, Sonelgaz adopte une nouvelle organisation. Celle-ci aboutit à un groupe comptant 33 filiales et 6 sociétés en participation directe.
- **2011 La Holding :** Le 02 mai 2011, les statuts de Sonelgaz, adoptés en 2002, sont amendés par le Conseil des Ministres. Ils deviennent, de ce fait, conformes aux dispositifs de la loi N°02 - 01 du 5 février 2002 relative à l'électricité et la distribution du gaz par canalisations.

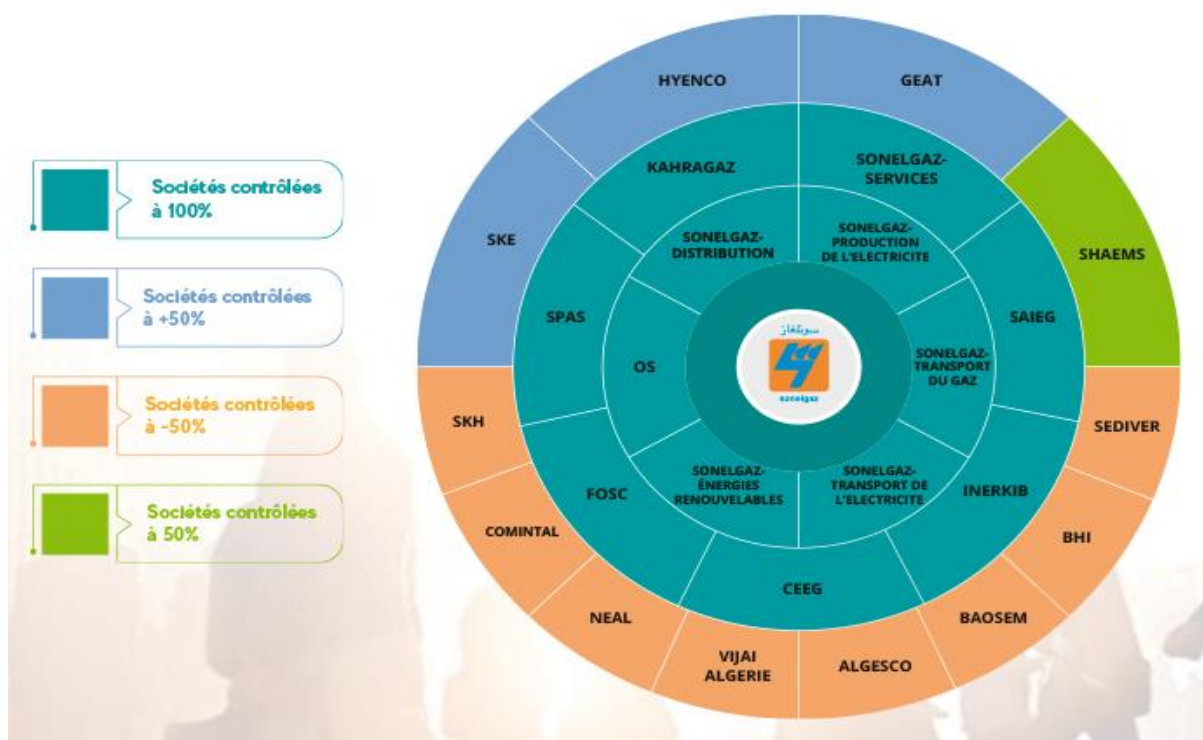


Figure I.2 : Schéma organisationnelle du groupe SONELGAZ.[1]

- **2014 / 2015 : Le partenariat au cœur du développement :**

En 2014, en partenariat avec Général Electric, création d'une société dénommée GEAT (General Electric Alegria Turbines).

- **2017 Une nouvelle organisation de la Distribution :**

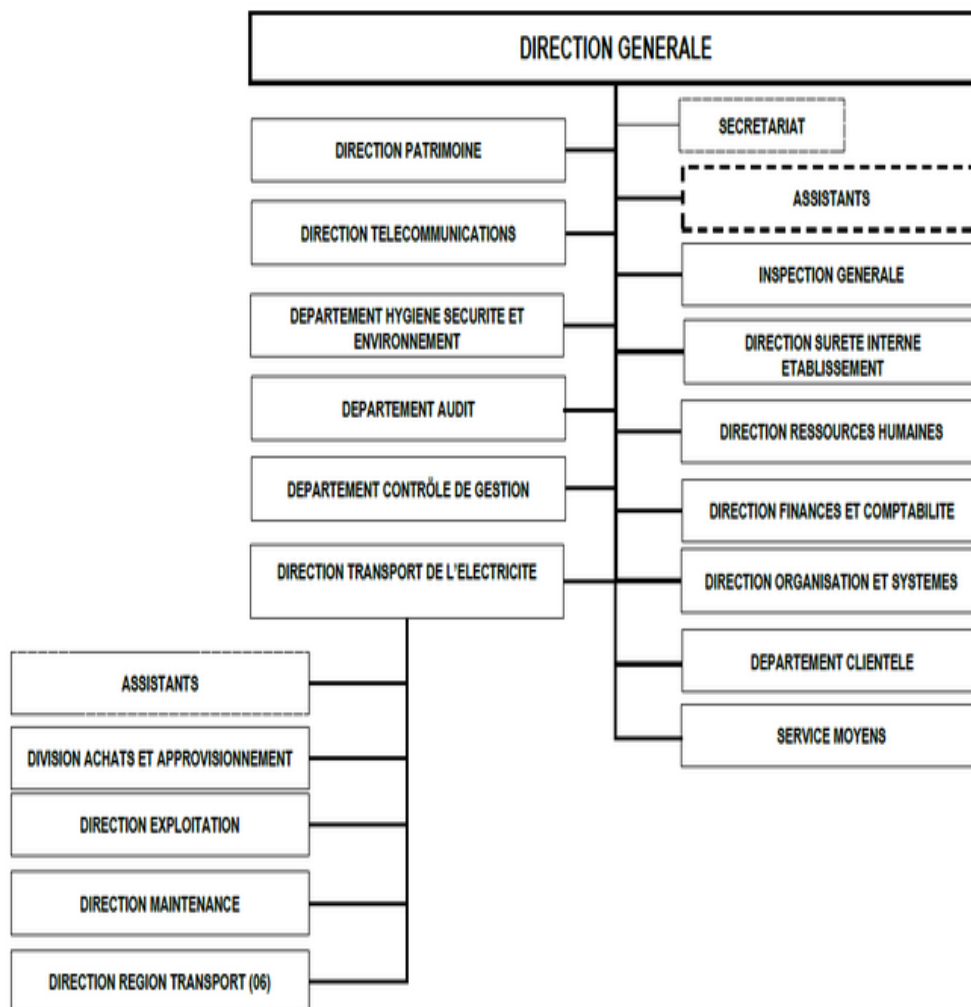
L'année d'une nouvelle organisation permettant d'améliorer davantage l'efficacité des sociétés du Groupe et de leur faire gagner en efficience à travers la mutualisation de leurs expériences propres et l'harmonisation de leur savoir-faire. Ainsi, le métier de la distribution relève, désormais, d'une seule entité dénommée Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz (SDC). La SDC est le résultat de la fusion-absorption par cette dernière des sociétés de distribution SDE, SDO et SDA.

- **2020-2021 :**

Une nouvelle stratégie pour de nouveaux horizons Le nouveau plan stratégique, dénommé Sonelgaz 2035, est porteur d'ambitions pour le Groupe. En effet, la stratégie recentre les missions de Sonelgaz sur son rôle d'énergéticien qui a pour principale raison d'être de fournir une énergie fiable et responsable, assurer un service public de qualité et contribuer au bien-être des clients et au développement durable [1].

### I.4 Présentation de l'entreprise (STE) :

La Société Algérienne de la Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité (STE), a pour mission d'assurer l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de transport de l'électricité, conformément à la législation et la réglementation en vigueur et aux dispositions de la loi N° 02-01 du 05/02/2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations, en vue de garantir une capacité adéquate par rapport aux besoins de transit et de réserve.



**Figure I.3 :**structure générale de l'Enterprise STE.

Le STE assure ses activités à travers des directions centrales et six (06) régions de transport de l'électricité (figure I.4), à savoir : Alger, Centre, Oran, Sétif, Annaba et Hassi Messaoud, à travers 24 services de transport répartis sur le territoire national assurant une maintenance de proximité et la relation directe avec les clients [3].



**Figure I.4 :** Les régions de Transport de l'Electricité.

❖ **STE 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 GWhs d'énergie transitée.
- 21 544 Km de fibre optique.[3]

#### **I.4.1 Les principales fonctions dans l'installation :**

La sous-station contient des transformateurs de puissance qui assurent l'alimentation électrique de l'État de Ghardaïa, qui est produite par les groupes de production Hassi R'Mel et Hassi Messaoud. La puissance convertie est de quatre niveaux de tension :

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

La sous-station est commandée et contrôlée par un système informatique puissant contenant les systèmes de surveillance, de traitement et de protection. La liaison entre les capteurs d'informations et l'unité de traitement est une fibre optique. Le poste est géré par un service technique de transport électrique qui exploité le réseau dans la région [4].

#### **I.4.2 Règles de protection et de sécurité à STE :**

Dans le cadre du respect des exigences légales et réglementaires et des autres aspects relatifs à la santé, sécurité au travail et la préservation de l'environnement, STE a identifié et engagé les actions suivantes :

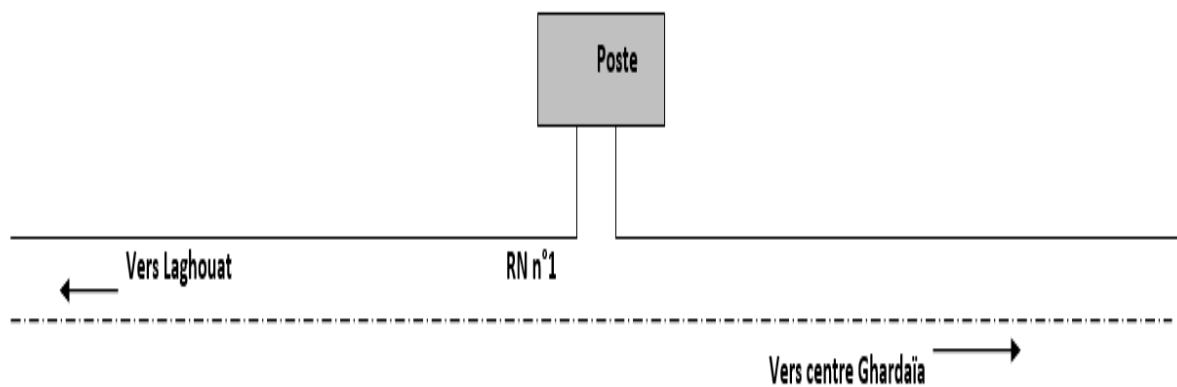
- ✓ Réalisation des actions arrêtées avec la Commission de Régulation Electricité et Gaz (CREG).
- ✓ Formation et information du personnel d'exploitation et de maintenance sur la gestion des déchets, des rejets huiles et du gaz SF6 au niveau des postes électriques.
- ✓ Prise en charge de la sécurité des tiers et du respect de l'environnement dans la phase étude et conception des nouveaux ouvrages.
- ✓ Identification et diffusion des textes réglementaires applicables à STE dans le domaine HSE.
- ✓ Sensibilisation du personnel intervenant sur ou au voisinage des ouvrages électriques sur l'identification et la maîtrise des risques professionnels.
- ✓ Lancement et suivi des campagnes d'habilitation du personnel intervenant sur ou au voisinage des ouvrages STE.
- ✓ Inspection et contrôle des chantiers et ouvrages électriques.
- ✓ Contrôle réglementaire de l'outillage et appareils de levage par un organisme agréé.
- ✓ Programmation des visites médicales périodiques pour l'ensemble du personnel de STE. Intégration, dans le cadre de la mise en place d'un système management intégré, des exigences réglementaires HSE, dans toutes les procédures et modes opératoires de travail [3].

#### **I.4.3 Poste STE de Ghardaïa :**

Le poste de transformation THT/HTB/MT 220/60/30 kV situé à Bouhraoua w. Ghardaïa il occupe une superficie de 4.12 ha. Ce poste est réalisé par l'entreprise KAHRAKIB (entreprise nationale de travaux et montage électrique) elle est mise en service contractuel en février 2001 et à partir de 02 octobre 2002 elle est exploitée. Ce projet a permis le renforcement de la sécurité d'alimentation en énergie électrique de la région de Ghardaïa (clientèle domestique agricole et industrielle) et contribuera au renforcement de l'interconnexion du réseau 220 kV entre Hassi Messaoud et le nord de pays [4].

**TABLEAU I.1** : Constitution du poste STE Ghardaïa

<b>Etage de 220kV</b>	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.
<b>Etage de 60 kV</b>	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.
<b>Etage de 30 kV</b>	02 cellules arrivées transformateur.
	01 cellule couplage 30 kV.
	14 cellules de départs 30 kV
	01 jeux de barre 30 kV.
<b>Infrastructure</b>	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 secoure.
	08 bâtiments de reliaje.

**I.4.4 Plan de situation du poste STE Ghardaïa :****Figure I.5** : Plan de situation de poste STE Ghardaïa.

I.4.5 Schéma de description du poste Ghardaïa :

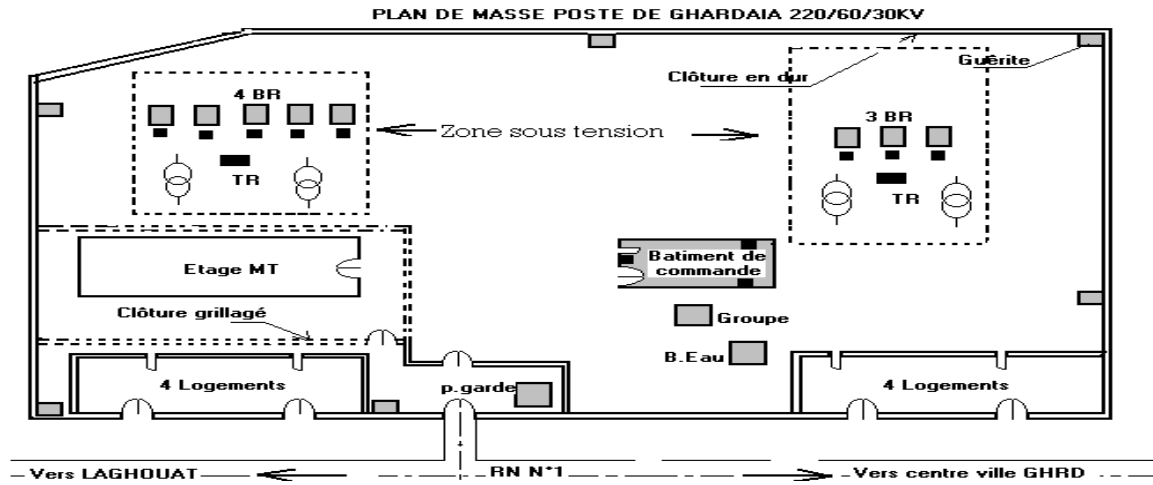


Figure I.6 : Plan de masse du poste STE Ghardaïa.

I.4.6. Schéma unifilaire du poste :

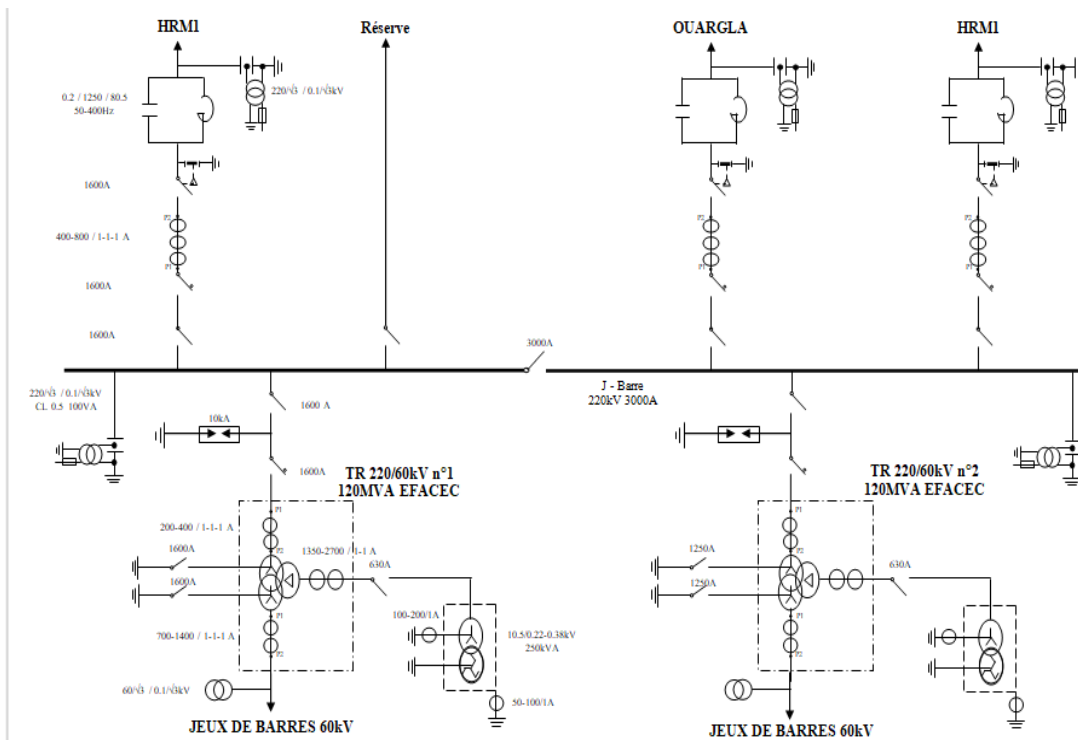


Figure I.7 : Schéma unifilaire du poste étage 220/60 KV.

Les figures I.7 et I.8 montrent les schémas unifilaires de poste STE Ghardaïa.



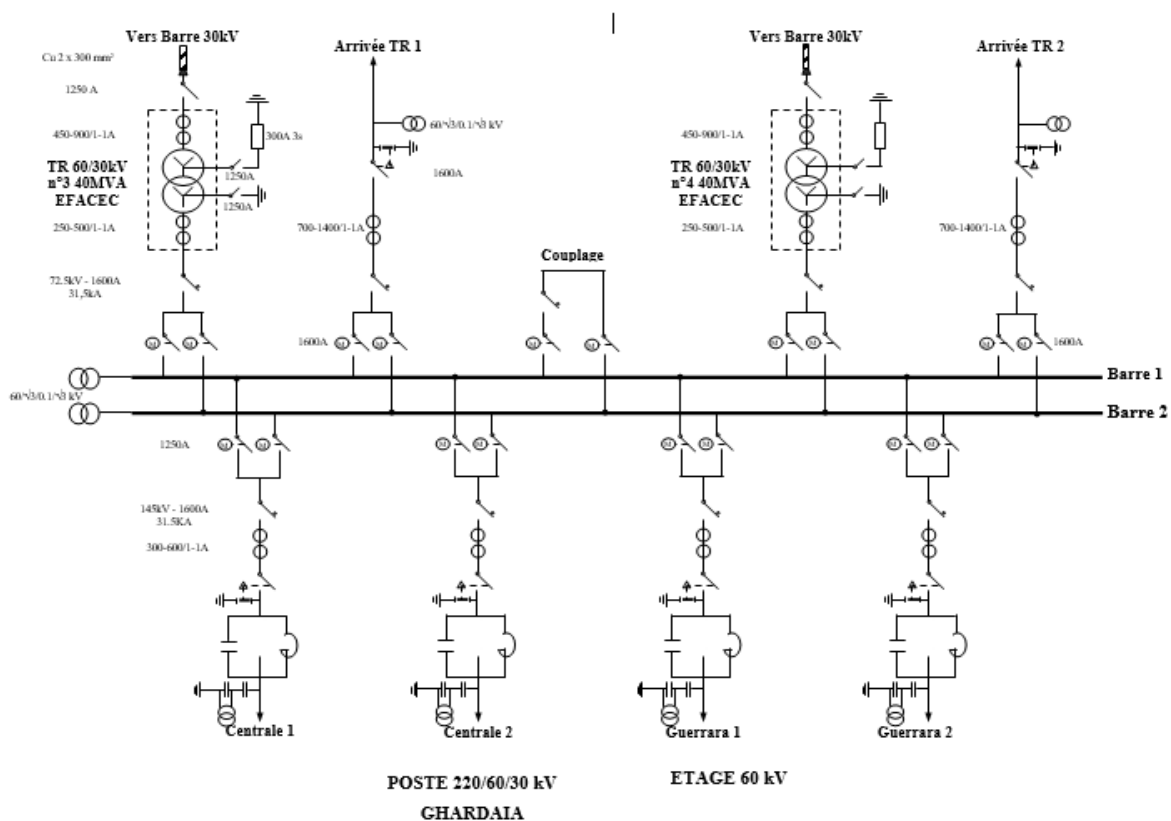


Figure I.8 : Schéma unifilaire du poste étage 60/30 kV.

### I.5. Conclusion

Sonelgaz a été activement impliqué dans l'expansion et la modernisation de l'infrastructure énergétique de l'Algérie, y compris la construction de nouvelles centrales électriques et de lignes de transmission. L'entreprise vise également à promouvoir les sources d'énergie renouvelables pour réduire la dépendance aux combustibles fossiles et contribuer à la durabilité environnementale.

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les réseaux électriques**

## Chapitre II : Généralité sur les réseaux électriques HTB

### II.1 Introduction :

Un réseau électrique est un système qui permet de produire, transporter et distribuer de l'électricité sur de longues distances aux utilisateurs finaux. Il est constitué d'un ensemble de centrales électriques, de lignes de transmission et de réseaux de distribution qui sont interconnectés pour garantir une alimentation électrique fiable et efficace. Le réseau électrique est un élément clé de l'infrastructure énergétique de tout pays, et sa conception, son exploitation et sa maintenance sont essentielles pour garantir une alimentation électrique fiable et stable à la population.



Figure II.1 : Structure générale d'un réseau électrique.

## II.2 Fonctionnement des systèmes électriques :

Le fonctionnement d'un système électrique repose sur la production d'électricité dans les centrales électriques, qui peuvent être alimentées par différentes sources d'énergie, telles que le charbon, le gaz naturel, le nucléaire, l'énergie solaire ou éolienne. L'électricité produite est ensuite transportée sur de longues distances à travers des lignes de transmission haute tension pour atteindre les zones de distribution. Les réseaux électriques classiques sont décomposés en trois sous-systèmes : la production, le transport et la distribution (Figure II.2).

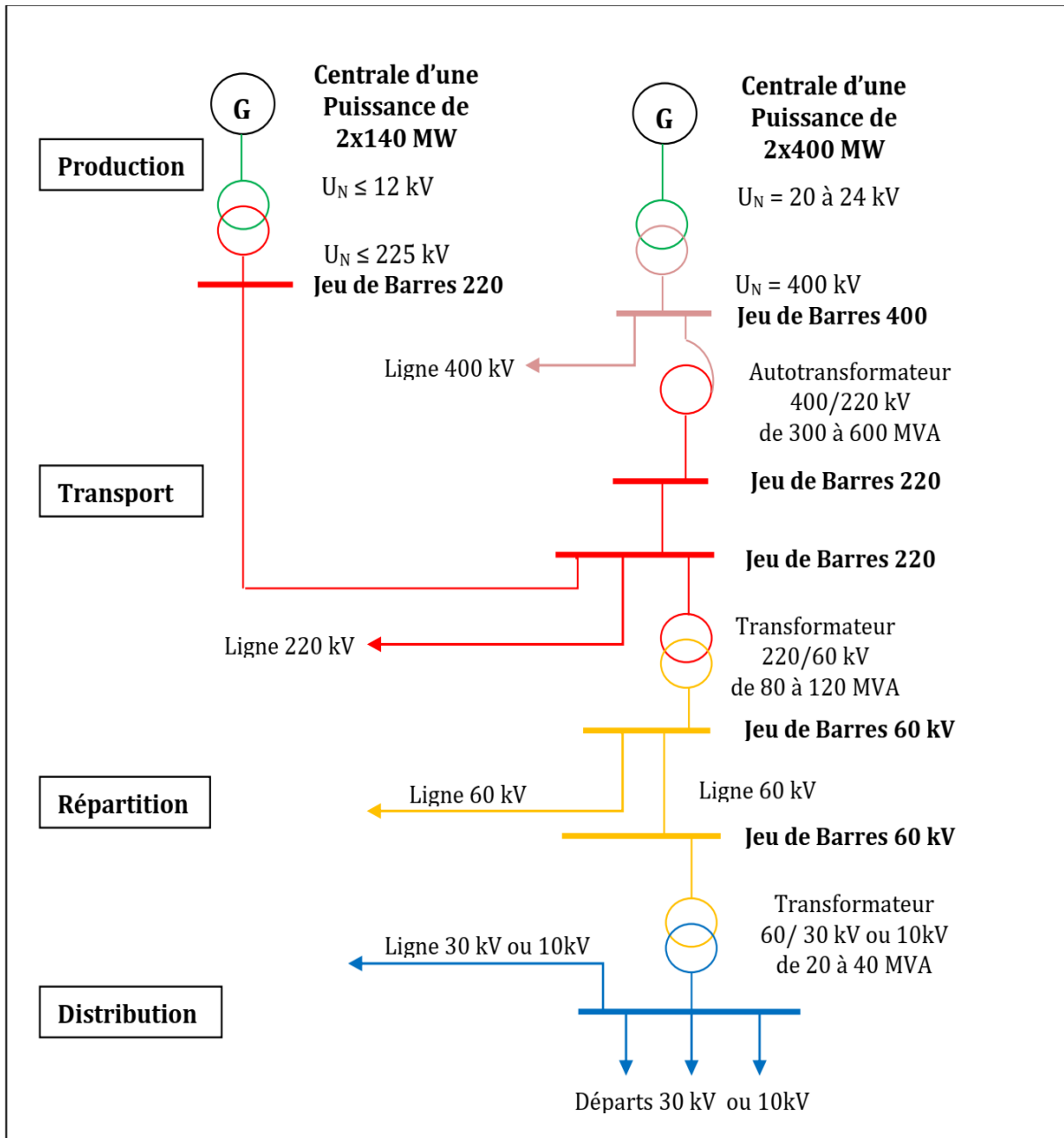


Figure II.2 : Architecture générale d'un réseau d'énergie électrique.

### II.2. 1 Production de l'électricité :

La production d'électricité est le processus de conversion d'une source d'énergie en électricité utilisable. Il existe différentes méthodes de production d'électricité, qui varient en fonction de la source d'énergie primaire utilisée. Voici quelques-unes des principales sources d'énergie utilisées pour générer de l'électricité :

1. **Charbon** : Le charbon est brûlé dans des centrales thermiques pour produire de la vapeur, qui fait tourner une turbine connectée à un alternateur. C'est une source d'énergie largement utilisée, bien que sa contribution diminue progressivement en raison de préoccupations environnementales liées aux émissions de gaz à effet de serre.
2. **Gaz naturel** : Le gaz naturel est également utilisé dans des centrales thermiques où il est brûlé pour produire de la vapeur et générer de l'électricité. Le gaz naturel est devenu une source d'énergie populaire en raison de sa combustion plus propre par rapport au charbon et au pétrole.
3. **Énergie nucléaire** : Les centrales nucléaires utilisent des réactions nucléaires de fission pour produire de la chaleur, qui est ensuite utilisée pour générer de la vapeur et entraîner une turbine connectée à un alternateur. L'énergie nucléaire offre une production d'électricité à grande échelle et ne produit pas de gaz à effet de serre, mais elle soulève également des inquiétudes quant à la sécurité et à la gestion des déchets radioactifs.
4. **Énergies renouvelables** : Cela englobe plusieurs sources d'énergie propres et renouvelables, telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'hydroélectricité, la biomasse et les énergies marines. Ces sources d'énergie exploitent les ressources naturelles pour générer de l'électricité sans émissions de gaz à effet de serre significatives [05].

L'énergie primaire utilisée pour la production d'électricité peut varier d'un pays à l'autre en fonction des ressources disponibles, des politiques énergétiques, des contraintes environnementales et d'autres facteurs. La diversification des sources d'énergie et la transition vers des énergies plus propres sont des tendances observées dans de nombreux pays pour réduire les émissions de carbone et promouvoir la durabilité énergétique.

### II .2.2 Transport de l'électricité :

Le réseau électrique est un système complexe de transport de l'électricité, qui permet de fournir de l'énergie électrique à partir des centrales électriques et des sources renouvelables aux consommateurs finaux tels que les entreprises, les foyers et les infrastructures publiques.

Le réseau HTB est constitué de lignes électriques à haute tension, généralement supérieures à 110 kV, qui sont souvent souterraines ou aériennes. Il peut également inclure des transformateurs, des postes électriques et d'autres équipements de transmission et de distribution d'énergie.

Le réseau HTB est essentiel pour le fonctionnement des systèmes électriques modernes, car il permet de transporter de grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec un minimum de pertes et d'interférences électromagnétiques. Il est également important pour la sécurité

électrique, car les tensions élevées du réseau HTB nécessitent des équipements de protection sophistiqués pour prévenir les pannes de courant et les surtensions.

### II.2.3 Répartition de l'électricité :

Enfin, une dernière fonction, dite de répartition, consiste à alimenter le réseau régional à haute tension qui desservira les postes de livraison à la distribution ou aux industriels importants.

### II 2.4 Distribution de l'électricité :

La distribution de l'électricité est le processus par lequel l'électricité est acheminée depuis les centrales électriques jusqu'aux consommateurs finaux tels que les ménages, les entreprises et les industries. Ce processus comprend plusieurs étapes clés :

- ✓ Génération.
- ✓ Transmission.
- ✓ Distribution.
- ✓ Sous-stations.
- ✓ Transformateurs.
- ✓ Compteurs électriques.
- ✓ Utilisation finale.

Il est important de noter que la distribution de l'électricité est gérée par des sociétés de distribution d'électricité qui sont responsables de l'exploitation, de la maintenance et de l'amélioration des réseaux de distribution dans une région donnée. Ces sociétés travaillent en étroite collaboration avec les producteurs d'électricité et les organismes de réglementation pour assurer une fourniture fiable et sécurisée d'électricité aux consommateurs [6] [7].

### II.3 Structures topologiques des réseaux électriques :

Les structures topologiques des réseaux électriques se réfèrent à la façon dont les différents composants d'un réseau électrique sont interconnectés. Voici les principales structures topologiques des réseaux électriques :

#### 1) Structure maillée :

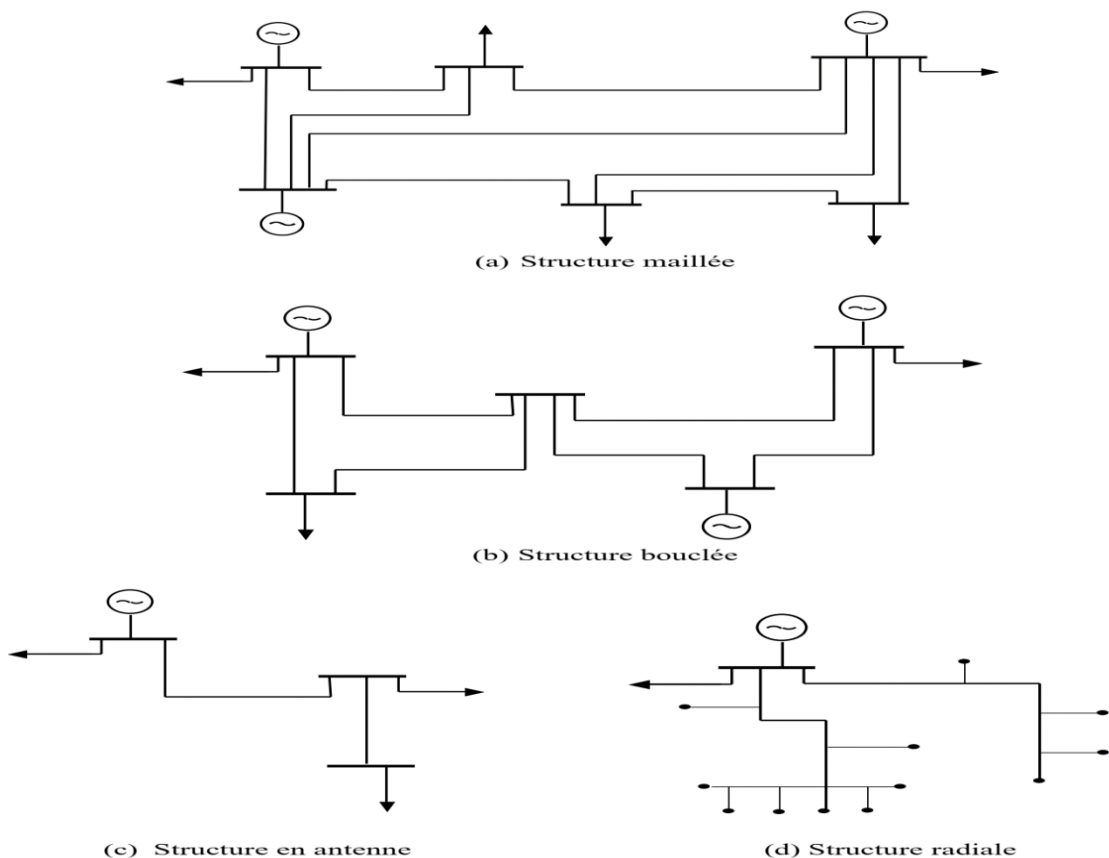
Dans une structure maillée, chaque composant du réseau est connecté à plusieurs autres composants. Cela crée un réseau dense de connexions, ce qui permet une grande fiabilité et une meilleure résilience en cas de pannes ou de défaillances d'un composant. La structure maillée est couramment utilisée dans les réseaux de transmission d'électricité à grande échelle pour assurer la continuité de l'alimentation électrique (figure II .4. A).

#### 2) Structure bouclée :

Dans une structure bouclée, les composants du réseau sont interconnectés pour former une ou plusieurs boucles fermées. Chaque boucle permet plusieurs chemins pour la circulation du courant électrique, ce qui contribue à la redondance et à la fiabilité du réseau. Les structures bouclées sont souvent utilisées dans les réseaux de distribution d'électricité à moyenne et basse tension (figure II.4.b)

### 3) Structure en antenne et Structure radiale :

- ✓ Dans une structure en antenne, un composant central est relié à plusieurs composants périphériques de manière linéaire ou radiale. Cette structure est souvent utilisée dans les réseaux de distribution d'électricité pour alimenter des zones périphériques à partir d'un point central. Les réseaux en antenne sont couramment utilisés dans les zones rurales ou les zones peu densément peuplées.
- ✓ Dans une structure radiale, les composants du réseau sont reliés de manière linéaire, du point d'alimentation central vers les points de consommation. Il n'y a pas de boucles ni de connexions multiples entre les composants. Cette structure est généralement utilisée dans les réseaux de distribution d'électricité à basse tension, où la puissance est fournie de manière unidirectionnelle depuis une source centrale vers les charges. Structures en antenne (figure II.4.c) ou radiale (figure II.4.d) [08].



**Figure II.3:** Topologies des réseaux électriques.

## II.4 Niveaux de tensions :

Les niveaux de tension électrique font référence à la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit. Ces niveaux de tension varient en fonction du contexte d'utilisation, de la localisation géographique et des normes en vigueur. Les tensions peuvent être classées en plusieurs catégories, allant de la basse tension à la très haute tension [09].

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension encourant alternative et continue comme suit [10].

**Tableau II. 1 :** Les niveaux essentiels de tension en Algérie (SONELGAZ).

<b>HTB</b>	60KV – 90KV – 150KV – 220KV – 400KV
<b>HTA</b>	5.5KV – 10 KV – 15KV – 20 KV – 30 KV
<b>BTA</b>	400V

**Tableau II. 2 :** domaines de tension.

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

## II.5 Lignes haute tension :

Les lignes haute tension (LHT) sont des câbles électriques conçus pour transporter de grandes quantités d'électricité sur de longues distances. Elles sont généralement utilisées pour relier les centrales électriques aux villes et aux zones industrielles.

Les LHT ont des tensions beaucoup plus élevées que les lignes de distribution d'électricité standard, qui transportent l'électricité dans les quartiers résidentiels. Les tensions typiques des LHT sont de 110 000, 220 000 ou 400 000 volts, mais elles peuvent aller jusqu'à plus de 1 000 000 de volts.

Les LHT sont constituées de câbles en acier recouverts d'une isolation en caoutchouc ou en plastique. Les tours de transmission, qui peuvent atteindre plus de 50 mètres de hauteur, supportent les câbles et les maintiennent à distance des obstacles tels que les bâtiments et les arbres.

Les LHT peuvent susciter des préoccupations environnementales et de santé publique en raison de leur impact visuel, de leur potentiel de décharges électriques, de leur champ électromagnétique et de leur bruit. Les réglementations strictes en matière de sécurité et de construction sont en place pour minimiser ces effets potentiels [11].





**Figure II.4 :** Ligne haute tension.

## **II.6 Composants d'une ligne haute tension aérienne :**

### **II.6.1 Les pylônes :**

Ce sont les supports verticaux qui soutiennent les conducteurs de la ligne haute tension. Ils sont souvent en acier ou en béton.



**Figure II.4 :** Ligne haute tension.

### **II.6.2 Les conducteurs :**

Ce sont les câbles électriques qui transportent l'électricité sur de longues distances. Les conducteurs sont souvent en aluminium ou en acier, avec une couche isolante pour éviter les court-circuit.



**Figure II.5 :** Câble en cuivre nu.



**Figure II.6 :** Conducteur en aluminium.

### II.6.3 Les isolateurs :

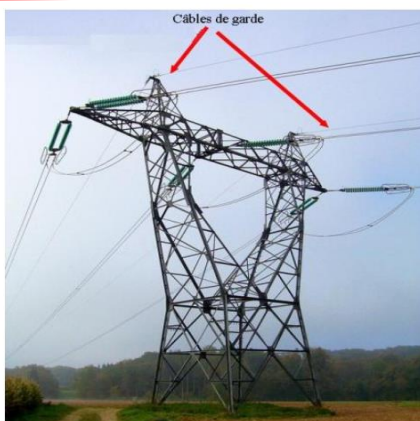
Ce sont des pièces en céramique ou en verre fixées aux pylônes, qui isolent les conducteurs électriques du pylône et du sol.



**Figure II. 7:** isolateur.

### II.6.4 Câble de garde :

Les câbles de garde, également connus sous le nom de câbles de retenue, sont des câbles en acier qui sont utilisés pour fournir un support et une sécurité supplémentaires aux structures telles que les ponts, les pylônes, les mâts de drapeau, les tours et les bâtiments. Les câbles de garde sont généralement fixés à des points d'ancrage solides et résistants à l'extrémité de la structure, puis étirés à travers des poteaux ou des piliers intermédiaires pour créer une barrière physique.



**Figure II. 8:** câble de garde.

### II.6.5 Les dispositifs de mise à la terre :

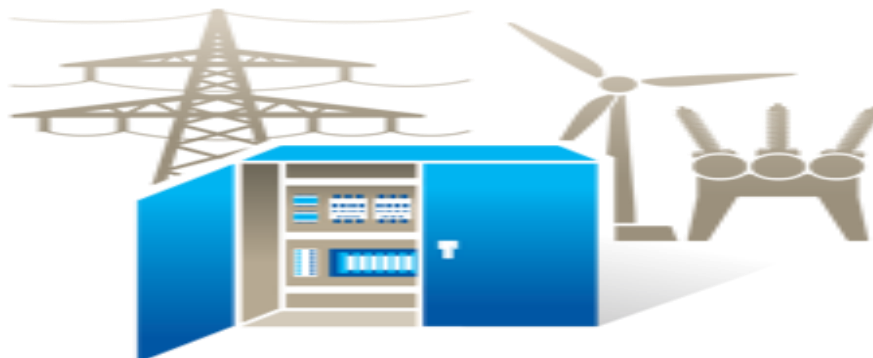
Ils permettent de diriger les courants de défauts vers le sol pour éviter les risques d'électrocution.



**Figure II. 9:** dispositifs de mise à la terre.

### II.6.6 Les équipements de commande et de surveillance :

Ils permettent de contrôler et de surveiller le système de ligne haute tension à distance.



**Figure II.10:** équipements de commande et de surveillance.

## **II.7 Postes électriques :**

Les postes électriques, également appelés postes de transformation, sont des installations électriques qui permettent de transformer la tension électrique d'un réseau de distribution d'électricité. Ils sont utilisés pour distribuer l'électricité produite par les centrales électriques aux consommateurs.

Les postes électriques sont généralement situés le long des lignes de transport d'électricité, là où la tension est la plus élevée. Ils permettent de convertir la tension de haute tension utilisée sur les lignes de transport en une tension de distribution plus basse, adaptée aux besoins des consommateurs. On parle généralement de sous-station. Il existe plusieurs types de postes Électriques [12] [13].

### **II.7.1 Différents types des postes :**

Les postes électriques sont des installations utilisées dans les réseaux électriques pour distribuer, contrôler et transformer l'énergie électrique. Voici une description des différents types de postes :

#### **II.7.1.1 Les postes à fonction d'interconnexion :**

Poste source : Il est situé au niveau de la centrale électrique ou d'une source de production d'énergie. Il transforme l'énergie électrique produite en une tension appropriée pour l'injection dans le réseau de distribution.

Poste de raccordement : Il permet de connecter plusieurs lignes de transport d'électricité provenant de différentes sources, telles que les centrales électriques, pour les intégrer dans un réseau commun.

#### **II 7.1.2 Les postes de transformation :**

Poste de transformation HTA/BT : Il est chargé de convertir la tension élevée du réseau de distribution (Haute Tension, HT) en une tension basse (Basse Tension, BT) utilisée par les consommateurs. Ces postes sont souvent présents dans les zones résidentielles ou commerciales.

Poste de transformation MT/BT : Il transforme la Moyenne Tension (MT) du réseau de distribution en Basse Tension (BT) pour l'alimentation des utilisateurs finaux.

#### **II7.1.3 Les postes mixtes :**

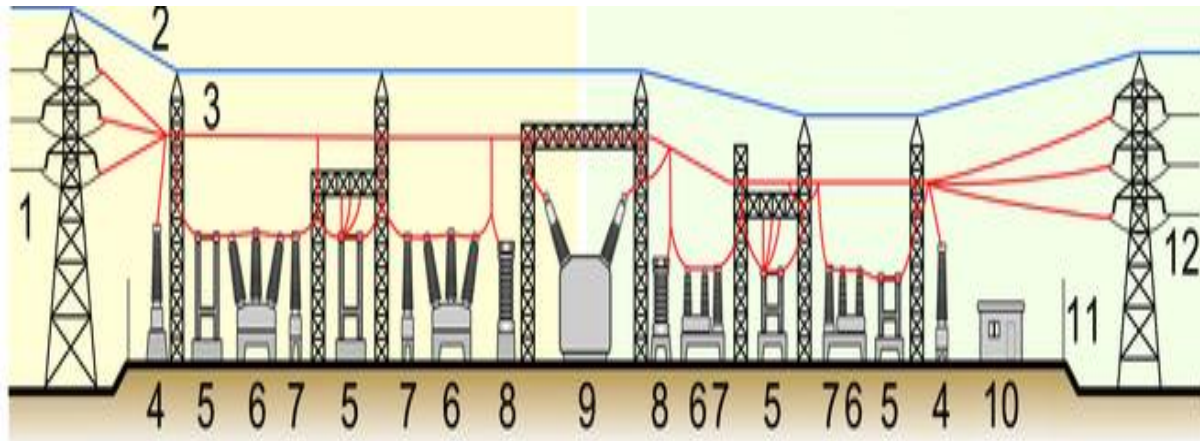
Poste mixte HTA/MT/BT : Il s'agit d'un poste qui combine les fonctions des postes de transformation HTA/BT et MT/BT. Il assure la transformation de la Haute Tension (HT) en Moyenne Tension (MT) et enfin en Basse Tension (BT).

Ces différents types de postes sont essentiels pour garantir la distribution efficace de l'électricité à travers les réseaux électriques, en adaptant les niveaux de tension en fonction des besoins des utilisateurs et en assurant l'interconnexion des sources de production.



### II.7.2 Les différents éléments d'un poste électrique :

Un poste électrique est une installation qui permet de transformer, de distribuer et de contrôler l'électricité sur un réseau électrique. Les différents éléments d'un poste électrique peuvent varier en fonction de leur type et de leur usage, mais en général, un poste électrique est composé des éléments suivants :



**Figure II.11** : Les différents éléments dans un poste électrique.

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. Ligne électrique.          | 7. Transformateur de courant.   |
| 2. Câble de garde.            | 8. Parafoudre.                  |
| 3. Ligne électrique.          | 9. Transformateur de puissance. |
| 4. Transformateur de tension. | 10. Bâtiment secondaire.        |
| 5. Sectionneur.               | 11. Collecteur.                 |
| 6. Disjoncteur.               | 12. Ligne secondaire.           |

### II.8 Conclusion :

Le réseau de transport électrique HTB est un élément crucial de l'infrastructure électrique mondiale, sa gestion et son développement continu sont essentiels pour assurer un approvisionnement en électricité sûr, fiable et durable pour les générations futures.

# **Chapitre III**

**Généralité sur le contrôle  
non destructif et la  
thermovision**

---

## Chapitre III : Généralité sur le contrôle non destructif et la thermovision

### III.1. Introduction :

Les ingénieurs ont créé les contrôles non destructifs (CND) afin de garantir la sécurité des personnes et des équipements, en réponse à une nécessité impérieuse. Les industries de pointe, telles que l'industrie aéronautique et nucléaire, ont mis en place des techniques sophistiquées de contrôle non destructif (CND) pour détecter les dernières imperfections des matériaux lors de la phase finale de la production de leurs produits. Actuellement, il existe une forte demande généralisée dans tous les secteurs industriels pour la qualité, devenue une nécessité vitale pour les entreprises confrontées à une concurrence internationale et à une clientèle exigeante [14].

### III.2. Définition de CND :

Le Contrôle Non Destructif (CND) désigne un ensemble de techniques permettant de caractériser l'état d'intégrité de matériaux ou de structures, sans altérer leur intégrité, que ce soit pendant la production, l'utilisation ou lors de la maintenance. Les Contrôles Non Destructifs (CND) utilisent des méthodes qui n'endommagent pas les éléments testés pour détecter, mesurer, localiser, dimensionner et caractériser les défauts internes et externes des composants sensibles, ainsi que pour suivre leur évolution. Les tests de CND se basent généralement sur l'observation et l'exploitation de phénomènes physiques perturbés par la présence d'anomalies ou d'hétérogénéités [15].

### III.3. Applications de CND :

Le Contrôle Non Destructif (CND) joue un rôle crucial dans l'industrie pour la fabrication, la mise en œuvre et l'utilisation de matériaux, de produits et de structures de toutes sortes. À l'heure actuelle, où la qualité est devenue une exigence incontournable [16], le champ d'application du CND s'étend au-delà de son domaine d'emploi traditionnel, qui était autrefois limité aux industries métallurgiques et aux activités où la sécurité est primordiale, telles que le nucléaire et l'aéronautique.

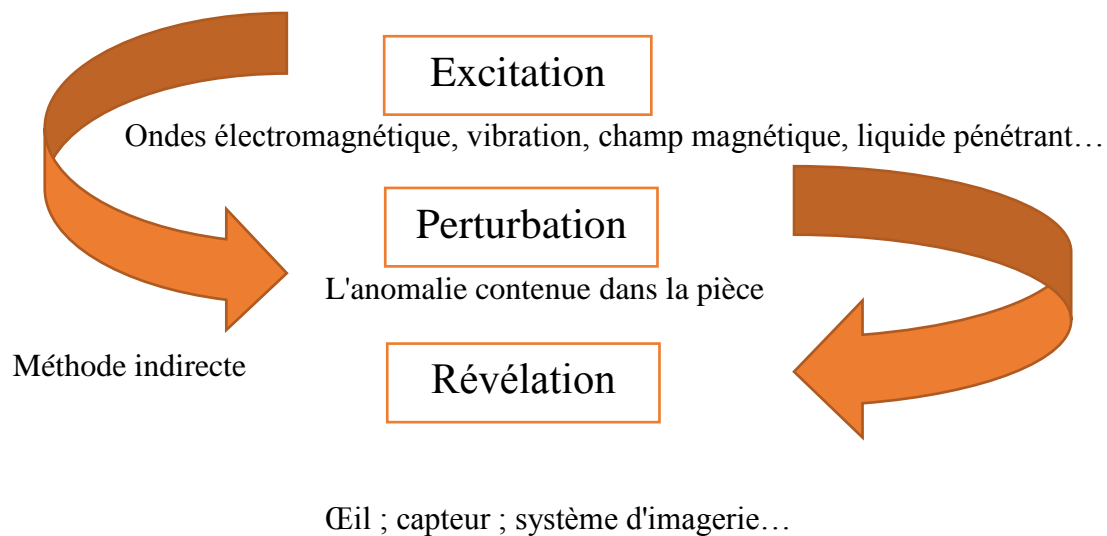
Après avoir passé en revue les processus de contrôle des biens d'équipement, il est essentiel de se concentrer sur le contrôle des biens de consommation.

- La nature des défauts que l'on cherche à les détecter se diversifie du même coup. On recherche des défauts technologiques ponctuels graves comme ceux inhérents à la fabrication et l'utilisation des métaux (L'industrie de production : métaux pour les machines, céramiques, verres, composites à matrice organique métallique ou céramique, structure complexe, pièce de fonderie),
- Industrie de transport ferroviaire automobile,
- Industrie énergétique : stockage et transport de l'eau, du gaz,
- Génie civil Ponts et chaussées béton, béton armé, bâtiment divers, centrale nucléaire,

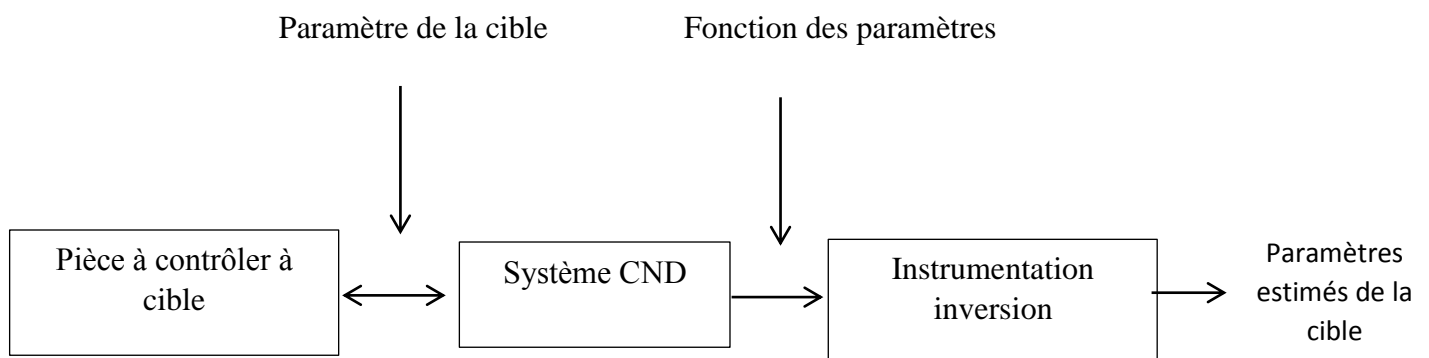
- Industrie du bois et du papier : planche meuble construction carton.
- il convient de prendre en compte les réseaux HTB (Haute Tension Basse Tension) dans le cadre de ce contrôle.

### III.4. Principes de CND :

Les Contrôles Non Destructifs s'opposent aux contrôles dits destructifs tels que les essais mécaniques, les contrôles métallographiques de structure, d'attaque chimique, de filiation de dureté (coupe d'une pièce...) qui entraîne une dégradation du matériau [17].



Quelle que soit la méthode adoptée, on peut représenter la mise en œuvre d'un système CND suivant le synoptique suivant :



### III.5. Les objectifs de CND :

Les objectifs de CND (Contrôle Non Destructif) sont généralement les suivants : [18]

- **Rapidité d'exécution**

Les techniques de CND visent à détecter les défauts ou les anomalies dans les matériaux ou les structures de manière rapide et efficace. L'objectif est d'obtenir des résultats rapidement pour minimiser les temps d'arrêt des équipements ou des processus de production.



- **Coût**

Les méthodes de CND doivent être économiquement viables par rapport aux autres méthodes de contrôle ou d'inspection. Elles permettent de détecter les défauts sans nécessiter la destruction ou le prélèvement d'échantillons, ce qui réduit les coûts associés aux tests destructifs ou à la production de pièces de rechange.

- **Reproductibilité**

Les techniques de CND doivent fournir des résultats cohérents et reproductibles. Cela signifie que les mêmes défauts ou anomalies devraient être détectés de manière cohérente à chaque inspection. La reproductibilité est importante pour garantir la fiabilité des résultats et la prise de décisions éclairées concernant les réparations ou les remplacements nécessaires.

- **Fiabilité**

Les méthodes de CND doivent être fiables pour détecter avec précision les défauts ou les anomalies. Elles doivent être capables de détecter les défauts les plus courants ainsi que les défauts plus complexes. La fiabilité des techniques de CND est essentielle pour assurer la sécurité des équipements, des structures ou des produits, et pour éviter les défaillances potentielles.

- **Sensibilité**

La sensibilité d'un système de mesure est définie comme le rapport des variations de la mesure et du mesurande. Une sensibilité élevée permet de détecter de petites variations du mesurande, telles que des défauts de faible dimension [19].

- **Résolution**

La résolution d'un système de contrôle non destructif correspond à la plus petite variation de signal détectable, telle que la taille du plus petit défaut détectable. Cette capacité de résolution est souvent exprimée en termes de pouvoir de résolution, qui correspond à la taille minimale de défaut détectable. Un pouvoir de résolution élevé indique une capacité à détecter des défauts de petite taille.

Il est communément admis que la rapidité, la reproductibilité et la sensibilité sont étroitement liées au coût, à la fiabilité et à la résolution, respectivement. Il est souvent indispensable de faire des compromis entre ces trois groupes de critères.

### III.5. Les types de CND :

Plusieurs types de CND existent et se répartissent en trois catégories : les Contrôles surfaciques (examen visuel, ressuage, magnétoscopie...), les Contrôles volumiques (radiographies, ultrasons...) et les Contrôles d'étanchéité.

#### III.5.1. Contrôle visuel :

Le contrôle visuel est l'un des types les plus simples et couramment utilisés de contrôle non destructif (CND). Il implique une inspection visuelle directe des matériaux, des composants ou des structures pour détecter les défauts, les imperfections ou les anomalies visibles à l'œil nu. Lors d'un contrôle visuel, un inspecteur qualifié examine attentivement la surface ou la zone à inspecter en utilisant ses yeux, éventuellement avec l'aide d'outils tels que des loupes, des lampes d'inspection, des endoscopes ou des caméras. L'objectif est de repérer tout signe de dommage, de corrosion, de fissures, de déformations, de discontinuités ou de tout autre défaut qui pourrait affecter la qualité, la durabilité ou la sécurité d'un matériau ou d'un composant. Le contrôle visuel peut être effectué à différents stades de production, de fabrication, d'assemblage ou d'utilisation d'un produit. Il peut être utilisé pour inspecter des soudures, des surfaces peintes, des pièces mécaniques, des structures métalliques, des équipements électriques, des matériaux composites, des installations industrielles, des infrastructures civiles, etc.

**Les avantages** du contrôle visuel résident dans sa simplicité, son coût relativement faible et sa capacité à détecter rapidement les défauts visibles. Cependant, il présente des limitations car il dépend de l'expérience et de la capacité de perception de l'inspecteur, et certains défauts peuvent être invisibles à l'œil nu ou nécessiter des techniques de CND plus avancées pour être détectés.

Il convient de noter que le contrôle visuel est souvent combiné avec d'autres méthodes de CND pour améliorer la fiabilité de l'inspection et la détection des défauts, en particulier pour ceux qui ne sont pas visibles à la surface [20].

##### III.5.1.1. Les matériels de contrôle visuel :

###### a. La lampe stylo :

La lampe stylo est couramment utilisée pour inspecter visuellement l'intérieur des tubes et permettre la visualisation du cordon de pénétration. L'outil est particulièrement utile en lumière rasante, car il est capable de révéler les défauts de forme tels que les morsures et les caniveaux situés en bord de cordon. Cette technique est fréquemment employée dans l'industrie pour inspecter les soudures et les tubes, car elle est simple, peu coûteuse et offre une bonne résolution visuelle.



### b. La loupe éclairante :

La loupe éclairante est un outil utilisé pour inspecter les cordons de soudure en grossissant les détails de la surface. Elle permet de distinguer des défauts de surface très fins, tels que des piqûres ou des fissures, qui pourraient passer inaperçus à l'œil nu. Cet outil est largement utilisé dans l'industrie pour l'inspection visuelle des soudures, en particulier pour les soudures de petite taille ou difficiles d'accès.



#### III.5.2. Ressuage :

Le ressuage, également connu sous le nom de liquide pénétrant, est l'un des nombreux procédés de contrôle non destructif utilisés pour détecter les défauts superficiels dans les matériaux. Il est largement utilisé dans l'industrie pour inspecter les pièces métalliques et non métalliques telles que les soudures, les pièces moulées, les tuyaux, etc.

##### III.5.2.1. Principe :

Le principe du ressuage repose sur la capillarité d'un liquide pénétrant qui est appliqué sur la surface d'une pièce à inspecter. Le liquide pénétrant est généralement une solution colorée à base d'eau ou de solvant organique contenant un colorant fluorescent ou visible. Le choix du liquide pénétrant dépend du type de défaut recherché et des exigences spécifiques de l'application [21].

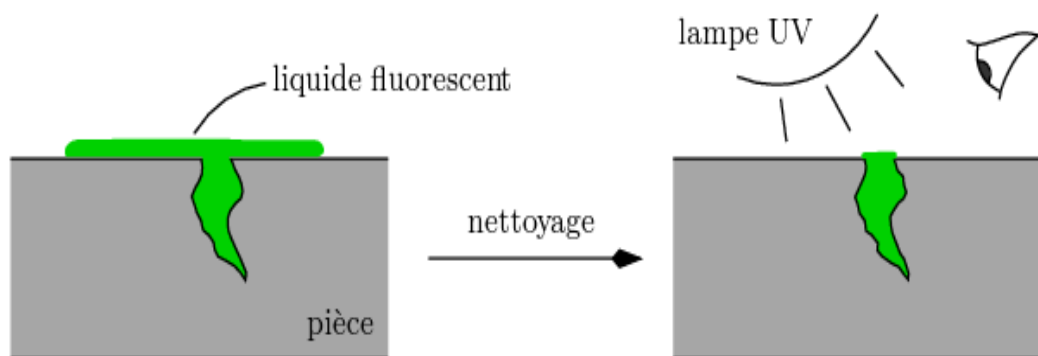


Figure III.1: Principe du ressuage.

#### ✚ Avantages :

- **Sensibilité élevée** : Le ressuage peut détecter de très petits défauts de surface, ce qui en fait une méthode de contrôle très sensible.
- **Polyvalence** : Le ressuage peut être utilisé pour inspecter une large gamme de matériaux non poreux, y compris les métaux, les plastiques et la céramique.
- **Facilité d'utilisation** : Le processus de ressuage est relativement simple et ne nécessite pas de compétences techniques avancées pour être réalisé.

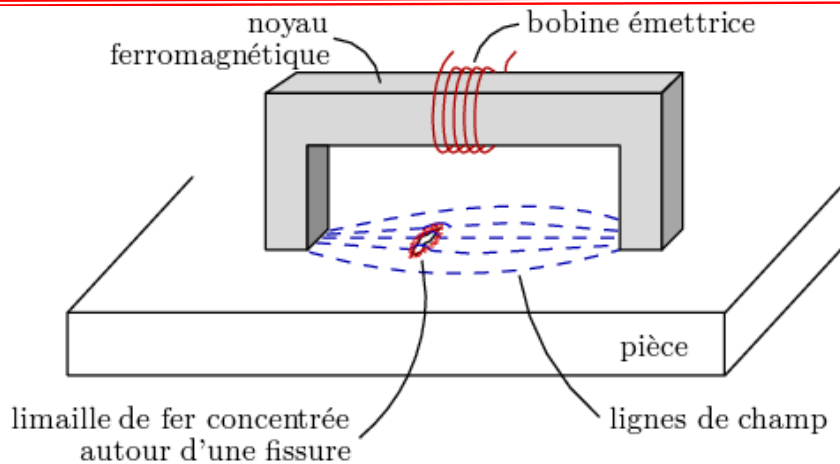
- **Coût relativement faible** : Comparée à d'autres méthodes de contrôle non destructif, la technique du ressuage est généralement abordable et nécessite un équipement simple.
- **Détection des défauts de surface** : Le ressuage est spécifiquement conçu pour détecter les défauts de surface, ce qui le rend particulièrement utile pour les pièces où les défauts sont susceptibles de se produire en surface.
- ✚ **Inconvénients** :
  - ❖ **Limitation aux défauts de surface** : Le ressuage ne peut détecter que les défauts de surface et ne fournit pas d'informations sur les défauts internes ou en profondeur.
  - ❖ **Nécessité d'un bon nettoyage** : Avant l'application du ressuage, les pièces doivent être soigneusement nettoyées et dégraissées pour éviter les résultats faussement positifs ou négatifs.
  - ❖ **Temps de traitement** : Le processus de ressuage peut prendre du temps, car il nécessite l'application du liquide pénétrant, le temps de pénétration, le nettoyage et l'application du révélateur.
  - ❖ **Compétences requises** : Bien que le ressuage soit relativement facile à mettre en œuvre, une formation et une expertise appropriées sont nécessaires pour interpréter correctement les résultats et identifier les défauts.
  - ❖ **Non adapté aux surfaces rugueuses** : Les surfaces rugueuses peuvent entraver la pénétration du liquide et rendre plus difficile la détection des défauts, ce qui limite l'applicabilité du ressuage dans certains cas.

### III.5.3. Magnétoscopie :

La magnétoscopie, également appelée particules magnétiques, est un procédé de contrôle non destructif utilisé pour détecter les défauts de surface et de subsurface dans des matériaux ferromagnétiques tels que l'acier et le fer. Ce procédé est largement utilisé dans l'industrie pour inspecter les soudures, les pièces forgées, les composants mécaniques, etc.

Le principe de base de la magnétoscopie repose sur l'utilisation d'un champ magnétique pour révéler les défauts présents dans le matériau. Les étapes principales du processus de magnétoscopie sont les suivantes : [22]

La méthode de contrôle par flux de fuite magnétique est limitée aux matériaux ferromagnétiques. Cette technique est particulièrement utile pour détecter les défauts superficiels de petite taille [23], mais est moins efficace pour les défauts internes. La mise en œuvre peut être complexe, car elle nécessite souvent une démagnétisation préalable des matériaux ainsi qu'une magnétisation initiale précise.



**Figure III.2:** Principe de la magnétoscopie

#### Avantages :

- **Sensibilité élevée :** La magnétoscopie peut détecter de très petits défauts de surface, ce qui en fait une méthode de contrôle très sensible.
- **Rapidité :** La magnétoscopie est généralement un processus rapide, ce qui permet d'inspecter un grand nombre de pièces en peu de temps.
- **Utilisation polyvalente :** La magnétoscopie peut être utilisée pour inspecter une grande variété de matériaux magnétiques tels que l'acier, la fonte, le nickel et certains alliages.
- **Coût relativement faible :** Comparée à d'autres méthodes de contrôle non destructif, la magnétoscopie peut être relativement économique à mettre en œuvre.
- **Pas besoin de préparation complexe :** La magnétoscopie ne nécessite généralement pas de préparation complexe des pièces à inspecter, ce qui permet de gagner du temps et des ressources.

#### Inconvénients :

- ❖ **Limitation aux matériaux magnétiques :** La magnétoscopie ne peut être utilisée que sur des matériaux magnétiques, ce qui en limite l'applicabilité à certains types de matériaux.
- ❖ **Inspection de surface uniquement :** La magnétoscopie est principalement adaptée à la détection de défauts de surface. Les défauts situés en profondeur peuvent être difficiles à détecter.
- ❖ **Nécessité d'une préparation adéquate :** Bien que la préparation des pièces à inspecter ne soit pas complexe, il est important de s'assurer que les surfaces sont correctement nettoyées et débarrassées de toute substance pouvant perturber les résultats de l'inspection.

- ❖ **Sensibilité aux orientations magnétiques** : La détection des défauts par magnétoscopie peut être affectée par l'orientation magnétique des matériaux, ce qui peut nécessiter des ajustements et des techniques spécifiques.
- ❖ **Compétences requises** : L'interprétation des résultats de la magnétoscopie peut nécessiter une certaine expertise et expérience pour garantir une évaluation précise des défauts détectés.

### III.5.4. Contrôles ultrasons :

Le CND par ultrasons est une technique qui implique la transmission d'une onde acoustique à travers un matériau. Les ondes réfléchies par les défauts présents dans le matériau sont ensuite captées par un capteur. Ce principe est similaire à celui utilisé en échographie médicale. En fonction des défauts constatés, des informations sur la taille, la profondeur et la nature des défauts peuvent être obtenues. Cette méthode est largement utilisée dans l'industrie pour l'inspection de pièces de grande taille et complexes, car elle permet une détection rapide et précise des défauts. Cependant, la qualité de l'inspection dépend de la compétence de l'opérateur et de la complexité des matériaux inspectés [24]. Les ultrasons sont de même nature que les sons mais de fréquence plus élevée (En C.N.D. par ultrasons, la plage utilisée est comprise entre  $10^5$  Hz et  $20 \cdot 10^6$  Hz) [25].

0 à 16 Hz	16 Hz à $16 \cdot 10^3$ Hz	$16 \cdot 10^3$ Hz à $150 \cdot 10^6$ Hz	$> 150 \cdot 10^6$ Hz
<b>Imprisons</b>	<b>Zone audibles</b>	<b>Ultra sons</b>	<b>Hyper sons</b>

#### III.5.4.1. Principe de contrôle par ultrasons :

Le principe de contrôle par ultrasons repose sur l'utilisation d'ondes sonores à haute fréquence, appelées ultrasons, pour détecter, mesurer ou inspecter des objets ou des matériaux. Les ultrasons sont des vibrations mécaniques de fréquence supérieure à la limite supérieure de l'audition humaine, soit généralement supérieure à 20 kilohertz (kHz). Le contrôle par ultrasons fonctionne en émettant des ondes ultrasonores à travers un transducteur, qui peut être une sonde manuelle tenue par un opérateur ou une sonde automatisée. Lorsque ces ondes rencontrent un objet ou un matériau, elles se propagent à travers celui-ci et subissent des réflexions ou des réfractions en fonction de la structure et des propriétés du matériau.

Le transducteur peut également fonctionner en mode émission/réception, c'est-à-dire qu'il peut émettre des ondes ultrasonores et détecter les ondes réfléchies ou réfractées. Les ondes détectées sont ensuite converties en signaux électriques qui sont amplifiés, traités et affichés sur un écran ou analysés par un ordinateur.

Les principales applications du contrôle par ultrasons comprennent l'inspection non destructive (END) de pièces métalliques, la détection de défauts tels que les fissures, les porosités ou les inclusions dans les matériaux, la mesure d'épaisseur de parois, la localisation de fuites, la caractérisation des propriétés des matériaux, l'imagerie médicale par ultrasons, etc [26]

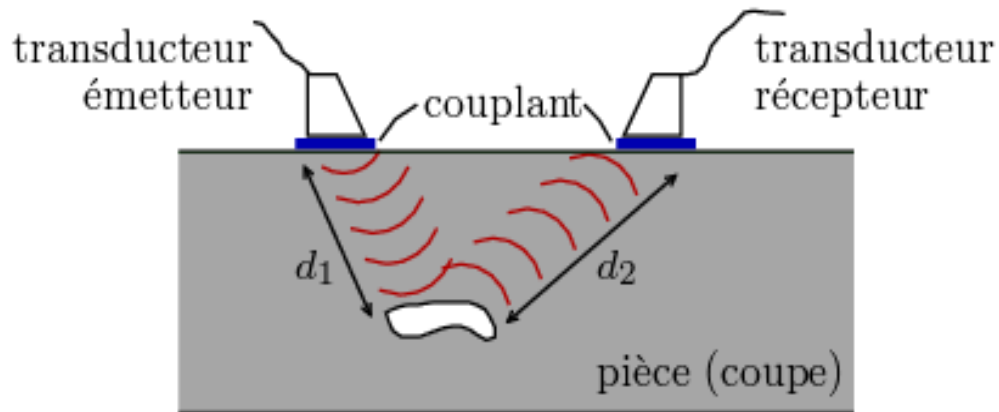


Figure III.3 : Principe de contrôle par ultrasons.

#### III.5.4.2. Matériels mis en œuvre :

- Postes U.S. analogiques ou numériques.
- Traducteurs OL, OT et à angles variables.
- Mesureurs d'épaisseurs.
- Logiciels de saisi et de suivi des mesures d'épaisseurs.

#### III.5.5. Courants de foucault :

Les courants de Foucault, également connus sous le nom de courants de Foucault induits ou courants parasites, font référence à un phénomène électromagnétique qui se produit lorsque des matériaux conducteurs sont exposés à un champ magnétique variable. Ces courants ont été découverts par le physicien français Jean-Baptiste Foucault en 1851.

Lorsqu'un matériau conducteur, tel qu'un métal, est placé dans un champ magnétique variable, un courant électrique induit circule à travers le matériau. Ce courant est appelé courant de Foucault. Les courants de Foucault circulent en boucles fermées dans le matériau conducteur, créant ainsi un champ magnétique induit qui s'oppose au champ magnétique extérieur.

Les courants de Foucault ont plusieurs effets et applications pratiques. Par exemple, ils génèrent de la chaleur dans le matériau conducteur, ce qui est utilisé dans des applications telles que les plaques de cuisson à induction. Les courants de Foucault sont également utilisés dans les freins à courants de Foucault, où ils sont créés intentionnellement pour ralentir ou arrêter le mouvement d'un objet conducteur. En outre, les courants de Foucault sont également un sujet d'étude important dans le domaine de la métrologie électrique. Leur présence peut perturber les mesures de courant et de tension, en particulier lorsqu'on utilise des transformateurs de courant ou des transformateurs de tension [27].





### III.5.5.1. Principe du CND par courants de Foucault :

Le Contrôle Non Destructif (CND) par courants de Foucault est une technique utilisée pour détecter les défauts ou les irrégularités dans les matériaux conducteurs tels que les métaux. Elle repose sur le principe des courants induits par un champ magnétique alternatif. Lorsqu'un courant alternatif est appliqué à une bobine conductrice, un champ magnétique est créé autour de la bobine. Lorsque cette bobine est placée à proximité d'un matériau conducteur, le champ magnétique alternatif induit des courants électriques, appelés courants de Foucault, à l'intérieur du matériau. Les courants de Foucault circulent dans le matériau en suivant des trajectoires spécifiques en fonction de la conductivité et de la géométrie du matériau. Si le matériau est homogène et sans défaut, les courants de Foucault circuleront de manière régulière et cohérente. Cependant, en présence de défauts tels que des fissures, des inclusions ou des variations de conductivité, les courants de Foucault seront perturbés.

Le CND par courants de Foucault exploite ces perturbations pour détecter les défauts. Une sonde à courants de Foucault est utilisée pour générer le champ magnétique alternatif et détecter les variations de courants induits. En mesurant les variations de courants, il est possible d'identifier la présence de défauts et d'évaluer leur taille, leur position et leur étendue.

Cette technique est largement utilisée dans de nombreuses applications industrielles, telles que l'inspection de pièces métalliques, la détection de défauts de surface, la mesure d'épaisseur de revêtement et la caractérisation de matériaux conducteurs. Elle offre l'avantage d'être non destructive, car elle ne nécessite pas la destruction ou la modification de l'échantillon testé [27].



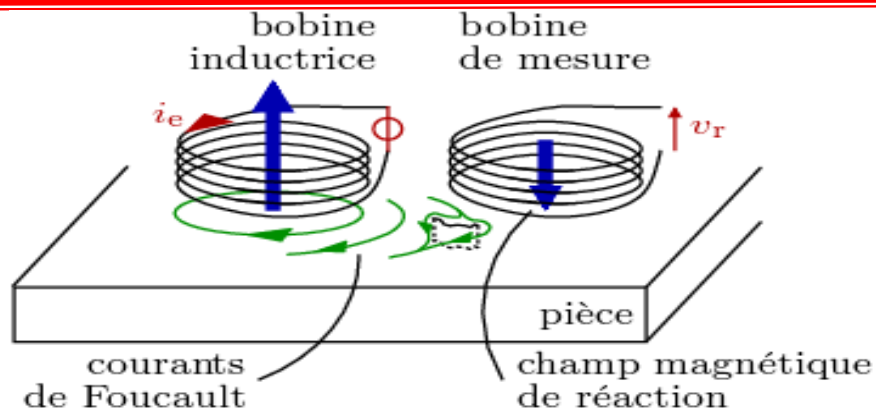


Figure III.4 : Principe du CND par courants de Foucault

### III.5.6. Radiographie :

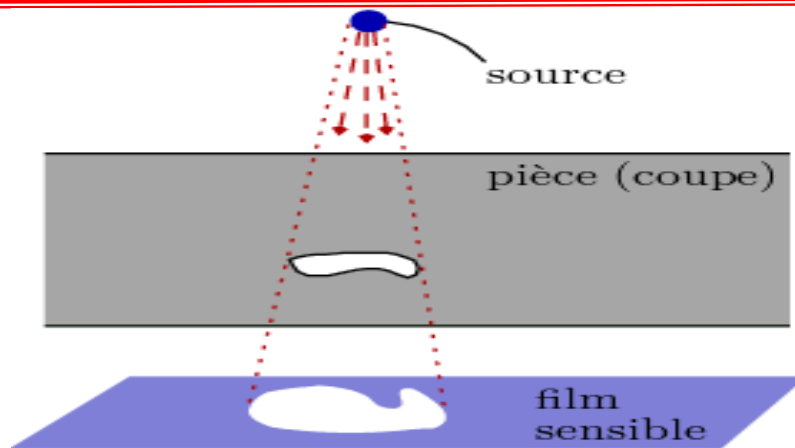
La radiographie est une technique d'imagerie médicale qui utilise les rayons X pour créer une image des structures internes du corps, telles que les os, les organes et les tissus mous. Elle est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus couramment utilisées en radiologie. Le processus de radiographie implique l'utilisation d'un appareil à rayons X qui émet un faisceau de rayons X à travers le corps du patient. Les rayons X sont absorbés différemment par les différentes structures corporelles en fonction de leur densité et de leur composition. Par exemple, les os apparaissent blancs sur une radiographie car ils absorbent davantage les rayons X, tandis que les tissus mous apparaissent plus sombres car ils les absorbent moins [29].



#### III.5.6.1. Principe de la radiographie :

La technique de radiographie utilise des sources de rayonnement ionisant à haute énergie, tels que les rayons X ou les rayons  $\gamma$ , pour pénétrer la matière à inspecter. Ces rayonnements possèdent une énergie suffisamment élevée pour traverser les matériaux.

Le rayonnement émis par une source de radiographie traverse la matière à inspecter. Les défauts présents dans la matière peuvent absorber une partie du rayonnement, créant ainsi des zones où l'intensité du rayonnement est plus faible que dans le reste de la matière. Ces zones peuvent être visualisées sur un écran fluorescent, ou enregistrées sur un film spécial lors de la radiographie industrielle [30].



**Figure Figure III.5 :** Principe de la radiographie

Bien que la radiographie puisse fournir des images détaillées et interprétables, son utilisation reste complexe en raison de la nécessité de mettre en place des procédures de protection pour le personnel impliqué et de la faible productivité qui en résulte, ce qui peut entraîner des coûts élevés. Cependant, elle est largement utilisée dans l'industrie de la fonderie et pour la détection de défauts dans les soudures.

### III.5.7. Thermographie infrarouge :



#### III.5.7.1. Définition :

Définition AFNOR : « la thermographie est la technique permettant d'obtenir, au moyen d'un appareillage approprié, l'image thermique d'une scène observée dans un domaine spectral de l'infrarouge ».

La thermographie infrarouge est une technique de mesure à distance qui utilise les caractéristiques de la lumière infrarouge. Elle permet d'obtenir une carte thermique, appelée thermogramme [31], qui montre les rayonnements ou les températures d'un phénomène thermique statique ou dynamique. Pour effectuer cette mesure, on utilise une caméra

infrarouge, également appelée caméra thermographique, caméra de mesure infrarouge ou analyseur thermique.

La méthode de thermographie infrarouge implique la création d'images à partir de radiations thermiques invisibles. Cette technique permet une détection instantanée des zones problématiques et permet de mettre en évidence des défauts qui ne peuvent être détectés par des méthodes conventionnelles.

En thermographie infrarouge, on travaille généralement dans une bande spectrale qui s'étend de 2 à 15  $\mu\text{m}$  et plus particulièrement dans les fenêtres 2-5  $\mu\text{m}$  et 7,5-13  $\mu\text{m}$ .

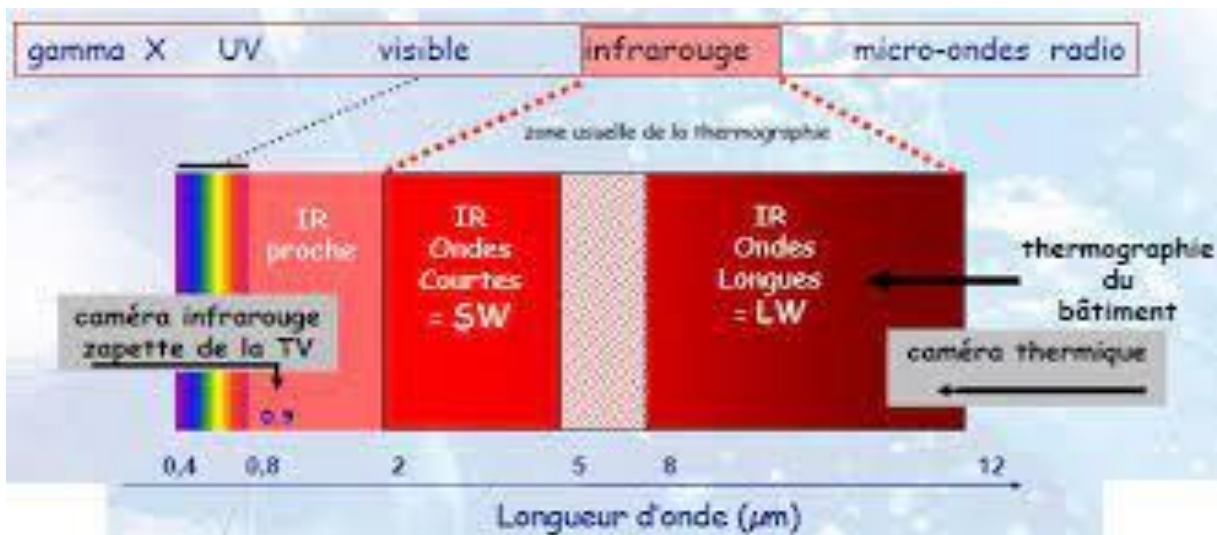
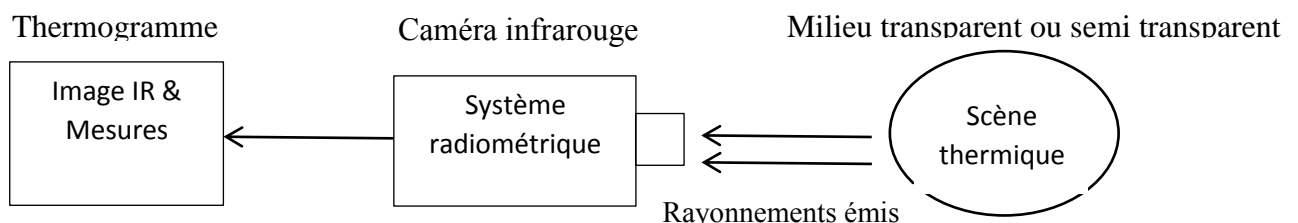


Figure III.6: Bande spectrale utilisée en thermographie IR

### III.5.7.2. Principe :

Le principe de la **thermographie** infrarouge repose sur le phénomène physique selon lequel chaque corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet un rayonnement électromagnétique. Chaque corps émet donc son propre rayonnement, qui dépend directement de sa température et de sa nature (notion d'émissivité des matériaux) [32].



En utilisant un milieu transmetteur, la caméra infrarouge détecte les rayonnements émis par une scène thermique. Les signaux numériques ou analogiques résultant de la puissance de rayonnement captée sont convertis en température par le système radiométrique. Ces températures sont ensuite transformées en points lumineux affichés sur un écran par le calculateur. Cette image est appelée "thermogramme". La thermographie infrarouge permet

ainsi de visualiser les zones à problèmes de manière instantanée et de déceler des défauts que les méthodes de détection conventionnelles ne peuvent pas révéler [32].



**Figure III.7** : Image visible et thermogramme correspondant d'un rouleau de papier

### III.5.7.3. Techniques d'analyses d'images thermiques :

Dans l'analyse d'images thermiques, il est souvent nécessaire de détecter des zones particulières dont le comportement diffère de celui du reste de l'image. Les caméras thermiques disposent de nombreuses fonctionnalités permettant d'augmenter artificiellement les contrastes locaux afin de faciliter la détection de ces zones. Les trois fonctions les plus importantes pour améliorer les images de surfaces vitrées thermiques sont le cadrage thermique, l'isotherme et les palettes [33]. Ces fonctions sont utilisées pour mettre en évidence les différences de température et les variations de couleur sur la surface de la vitre. Leur manipulation permet une analyse précise des images et facilite l'interprétation des données thermiques :

#### 1. Cadrage thermique :

Le cadrage thermique est une fonction permettant d'ajuster l'échelle de l'image pour optimiser le contraste en vue de l'analyse. Cette fonction implique l'utilisation des contrôles de niveau et de gain de la caméra. Une fois que la zone d'intérêt de l'image est sélectionnée, il est nécessaire d'ajuster ces deux paramètres de manière à ce que les couleurs de la palette soient les plus adaptées possibles à cette zone de l'image. Les zones moins intéressantes de l'image peuvent être en dehors de l'échelle. Elles seront alors généralement représentées en noir ou en blanc [34].

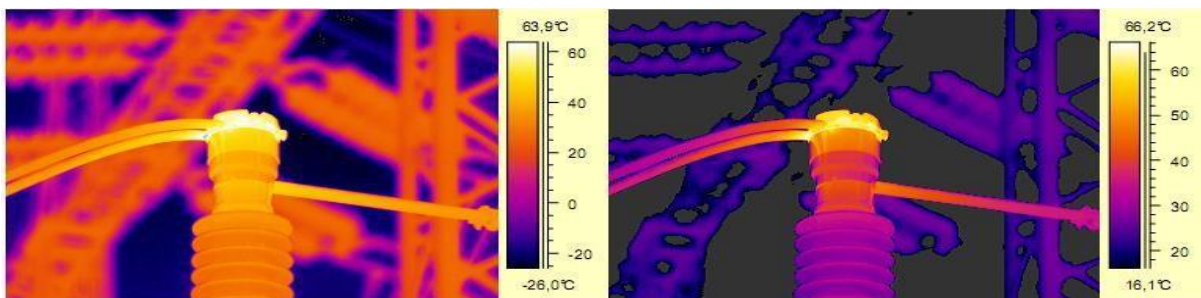


Image réglée automatiquement

Image cadrée thermiquement sur le composant

Dans l'image de droite, le niveau de gain est réduit tandis que le niveau est considérablement plus élevé. Cela produit un contraste plus net et améliore la visibilité de la zone thermique. Par conséquent, cette image est plus facile à analyser que la précédente car la zone d'intérêt est mieux mise en évidence.

## 2. Isotherme :

L'isotherme est une fonctionnalité permettant de remplacer certaines couleurs dans l'échelle par des tons opposés, marquant ainsi un intervalle de température apparente égale. Cette fonction ne remplace qu'une plage de couleurs par une autre contrastant davantage avec les couleurs présentes dans la Figure III.7. L'isotherme peut être ajusté en le déplaçant verticalement sur l'échelle et en l'élargissant ou en le réduisant selon les besoins de l'utilisateur [34].

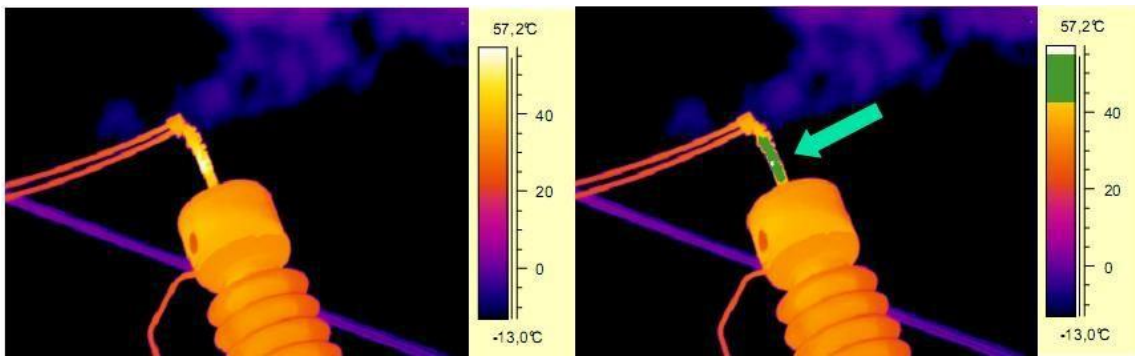


Figure III.8 : Tête de transformateur haute tension avec une isotherme

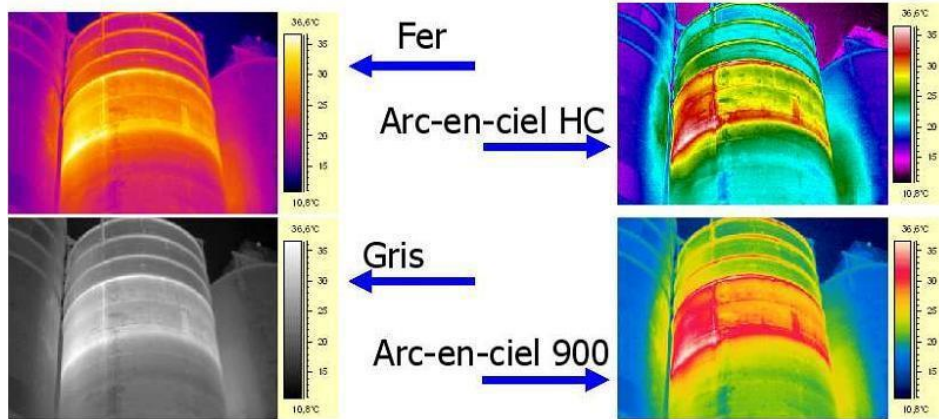
## 3. Palettes :

Une palette de couleurs assigne des couleurs spécifiques à des niveaux de température apparente prédéfinis, créant ainsi un contraste visuel. La palette peut être plus ou moins contrastée en fonction des couleurs utilisées. Habituellement, une image thermique peut être affichée avec un maximum de 256 nuances de couleur ou de gris simultanément. Sur une échelle de gris, la couleur noire se trouve à une extrémité et elle s'éclaircit progressivement à chacun des 256 pas jusqu'à devenir blanche. Ainsi, il y aura très peu de contraste entre deux nuances de gris adjacentes [34]. En revanche, avec une image couleur, une large gamme de couleurs peut être utilisée pour obtenir un meilleur contraste. Les couleurs doivent être soigneusement assorties les unes aux autres pour créer une image lissée agréable à observer. La Figure III.8 illustre un exemple de thermogramme d'une cuve de stockage pris avec différentes palettes de couleurs.

Le choix de palettes :

- ✓ Utilisez des palettes très contrastées sur des objets cible peu contrastés.
- ✓ Utilisez des palettes peu contrastées sur des objets cible très contrastés.





**Figure III.9 :** Exemples de différentes palettes

#### III.5.7.4. Moyens de mesure :

Pour estimer l'état de santé d'une installation, et prévenir les risques (incendie, arrêt de production... etc.), il y a nécessité de voir et de mesurer permet d'assurer cette analyse quand l'état de santé est corrélé avec les températures.

Le matériel nécessaire pour réaliser une analyse d'images thermiques inclut une caméra infrarouge 3-5, 8-12  $\mu$  avec une résolution thermique de 0,1°C à 20°C, ainsi qu'une unité de traitement d'images. Il est également nécessaire d'avoir un magnétoscope ou un système de stockage numérique pour enregistrer les données sur site. Un ordinateur est requis pour l'analyse des résultats en temps réel, tandis qu'un ensemble de mesures portatif doit être utilisé pour mesurer la température ambiante, la vitesse du vent, etc. Des logiciels d'analyse spécifiques, tels que Thermogramme, The monitor ou TIC8000, peuvent également être utilisés en laboratoire. Ce matériel est mobile et portable, ou peut être monté sur un chariot et n'a pas besoin d'être alimenté par une source d'énergie externe. Il est important de noter que l'ensemble du matériel infrarouge doit être étalonné annuellement en respectant les normes [35].

Les deux instruments plus connus sont :

##### 1. Le thermomètre infrarouge :



**Figure III.10 :** Thermomètre infrarouge



**Figure III.11 :** Photo d'une Caméra infrarouge

Les thermomètres infrarouges sont particulièrement recommandés dans des domaines où la mesure de température par contact est impossible :

- ✓ Mesure des températures corporelles.
- ✓ Industrie alimentaire.
- ✓ Industrie des métaux.
- ✓ Surveillance des équipements électriques.
- ✓ Environnements dangereux.
- ✓ Si la température peut être affectée par le contact.

## 2. La caméra infrarouge :



**Figure III.12 :** Image infrarouge

La caméra infrarouge est un type de caméra qui est capable de détecter et d'enregistrer la chaleur émise par les objets, plutôt que de capturer la lumière visible. Elle utilise le rayonnement infrarouge pour former une image basée sur les différences de température [36].

### \* Ses avantages :

- ✓ **Vision dans l'obscurité :** La caméra infrarouge peut voir dans l'obscurité totale car elle détecte la chaleur émise par les objets plutôt que la lumière visible. Elle est donc très utile pour la surveillance nocturne.

- ✓ **Détection de chaleur anormale** : La caméra infrarouge peut détecter les variations de température, ce qui permet de repérer les points chauds ou froids anormaux. Cela peut être utilisé dans de nombreux domaines, tels que la détection de fuites d'énergie, la détection d'incendies, la recherche de personnes disparues, etc.
- ✓ **Non-dépendance à la lumière** : Contrairement aux caméras traditionnelles qui nécessitent une bonne source de lumière pour capturer des images de qualité, la caméra infrarouge fonctionne indépendamment de la lumière ambiante. Elle est donc utile dans des environnements où l'éclairage est limité ou inexistant.
- ✓ **Visualisation des contrastes thermiques** : La caméra infrarouge permet de visualiser les différences de température entre les objets, ce qui peut révéler des informations importantes. Par exemple, dans le domaine de la médecine, elle peut être utilisée pour détecter les anomalies thermiques dans le corps, ce qui peut aider à diagnostiquer certaines maladies.
- ✓ **Utilisation à distance** : Les caméras infrarouges peuvent être utilisées à distance, ce qui permet de surveiller des zones étendues sans nécessiter de présence physique constante. Elles sont couramment utilisées dans les systèmes de vidéosurveillance pour la sécurité des bâtiments, des entrepôts, des installations industrielles, etc [37].

#### \*Deux analyses possibles :

- **Analyse qualitative** : Permet de déceler s'il existe une anomalie. Savoir où cette anomalie est située. C'est une analyse effectuée en priorité,
- **Analyse quantitative** : Utilisée pour permettre de classer l'anomalie par son degré d'importance et définir l'urgence de la réparation.

#### III.5.7.5. Domaines d'application :

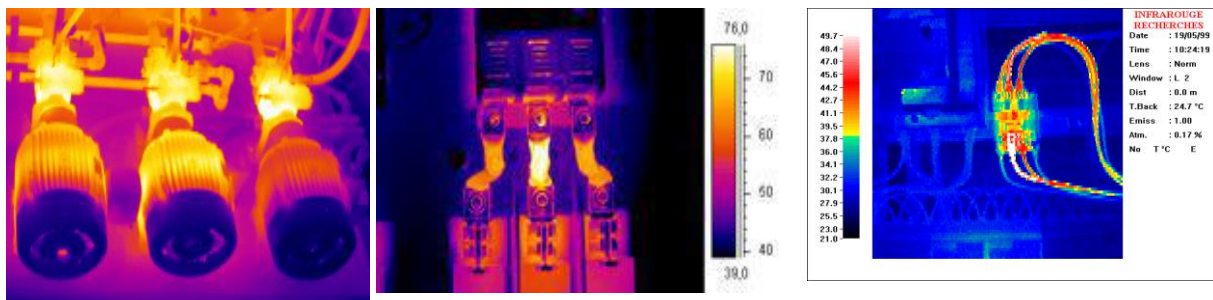
La thermographie infrarouge est une technique qui permet de détecter et de mesurer les radiations thermiques émises par les objets. Elle trouve de nombreuses applications dans divers domaines. Voici quelques exemples:

- **Maintenance prédictive** : La thermographie infrarouge est utilisée pour inspecter et surveiller les installations électriques, mécaniques et thermiques. Elle permet de détecter les points chauds, les surcharges, les pertes d'efficacité et les défauts potentiels, ce qui permet de planifier des interventions de maintenance avant que des pannes ne surviennent.
- **Bâtiment** : Dans le domaine de la construction, la thermographie infrarouge est utilisée pour identifier les défauts d'isolation thermique, les infiltrations d'air, les fuites d'eau, les ponts thermiques et les problèmes liés à la ventilation. Ces informations permettent de réaliser des économies d'énergie, d'améliorer le confort des occupants et d'optimiser les performances énergétiques des bâtiments.
- **Médecine** : En médecine, la thermographie infrarouge est utilisée pour diagnostiquer certaines pathologies et blessures. Elle peut détecter des inflammations, des infections, des problèmes circulatoires, des tumeurs et des anomalies dans le système



musculosquelettique. La thermographie infrarouge est également utilisée dans la recherche médicale pour étudier les réponses thermiques du corps à différents stimuli.

- **Sécurité** : La thermographie infrarouge est utilisée dans les applications de sécurité pour la surveillance et la détection d'anomalies. Elle permet de repérer les personnes cachées dans l'obscurité, de détecter les incendies, de surveiller les infrastructures critiques (comme les centrales électriques et les pipelines) et de contrôler l'accès à des zones sensibles.
- **Industrie** : Dans l'industrie, la thermographie infrarouge est utilisée pour inspecter les processus de fabrication, les équipements industriels, les lignes de production et les systèmes de refroidissement. Elle permet de détecter les surchauffes, les problèmes de qualité, les défaillances d'équipement et les fuites de chaleur, ce qui contribue à améliorer l'efficacité et la fiabilité des opérations industrielles [38] [39].



Applications électriques

Applications mécaniques

**Figure III.13** : Les divers applications de la thermographie infrarouge

### III.6. Conclusion :

En conclusion, Les différentes techniques de CND permettent de détecter et d'analyser des défauts ou des anomalies sans avoir à détruire ou endommager le matériau ou la structure. Elles offrent ainsi des avantages économiques, de sécurité et de fiabilité.

# **Chapitre IV**

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

---

**Chapitre IV : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse****IV.1 Introduction :**

La maintenance industrielle est un ensemble d'activités visant à assurer le bon fonctionnement et la longévité des équipements et des installations industrielles. Pour y parvenir, plusieurs méthodes d'analyse peuvent être utilisées pour détecter et prévenir les pannes, optimiser les processus de maintenance et améliorer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des systèmes industriels.

L'une de ces méthodes est l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), Une autre méthode couramment utilisée est la méthode ABC (Diagramme de Pareto), qui permet de classer les équipements ou les processus en fonction de leur importance et de leur impact sur la production , La méthode QQQQCP (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi) est une méthode d'analyse qui permet de définir précisément les objectifs et les actions à mettre en place pour résoudre un problème de maintenance. Et de proposer des solutions adéquates.

Le diagramme de cause-effet (aussi appelé diagramme d'Ishikawa ou en arête de poisson) est une méthode graphique qui permet d'identifier les causes potentielles d'un problème de maintenance Enfin, la méthode de l'arbre de défaillance permet de représenter graphiquement les différentes défaillances possibles d'un système et d'évaluer leur probabilité et leur impact. Elle aide à identifier les points critiques d'un équipement ou d'un processus et à mettre en place des actions.

**IV.2 Généralité sur la maintenance industrielle :****IV.2.1 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306) :**

La norme NF EN 13306 définit la maintenance comme étant "l'ensemble des actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir les fonctions requises". En d'autres termes, la maintenance consiste à assurer le bon fonctionnement et la pérennité d'un équipement, d'un système ou d'un bâtiment en effectuant régulièrement des actions préventives et/ou correctives. Ces actions peuvent inclure des opérations de nettoyage, de réparation, de remplacement de pièces ou encore de mise à jour de logiciels. L'objectif de la maintenance est d'assurer la sécurité des personnes, de prolonger la durée de vie du bien et de maintenir sa performance à un niveau optima [40].

**IV.2.2 Objectif de la maintenance :**

L'objectif principal de la maintenance est d'assurer le bon fonctionnement et la disponibilité des équipements, des machines et des systèmes afin de maximiser leur efficacité et leur durée de vie. La maintenance vise à prévenir les pannes, à identifier et à corriger les défauts avant qu'ils ne causent des problèmes plus graves, à réparer rapidement les pannes lorsque celles-ci se produisent, et à maintenir les équipements dans un état de fonctionnement optimal en effectuant régulièrement des activités de maintenance préventive.

La maintenance peut également aider à réduire les coûts d'exploitation en évitant les temps d'arrêt coûteux et en prolongeant la durée de vie des équipements. Elle peut également contribuer à améliorer la sécurité en garantissant que les équipements sont conformes aux normes de sécurité applicables et en identifiant et en corrigeant les problèmes de sécurité potentiels.

**En somme**, l'objectif de la maintenance est de maximiser la disponibilité, la fiabilité, l'efficacité et la sécurité des équipements, des machines et des systèmes.

➤ **Objectifs de coût :**

- Réduire les coûts de réparation.
- Optimiser les coûts de maintenance.
- Minimiser les coûts d'immobilisation.
- Optimiser les coûts des pièces de rechange.

**En résumé**, les objectifs de coût de la maintenance visent à minimiser les coûts associés à la maintenance et à maximiser la rentabilité des entreprises.

➤ **Objectifs opérationnels :**

- Maximiser la disponibilité.
- Améliorer la fiabilité.
- Assurer la sécurité.
- Optimiser la performance.

**En résumé**, les objectifs opérationnels de la maintenance visent à améliorer la productivité, la qualité, la sécurité et l'efficacité de l'entreprise. Ils sont étroitement liés aux objectifs de coût de maintenance, car des équipements efficaces et fiables permettent de réduire les coûts et d'améliorer la rentabilité [41].

### **IV.2.3 La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000) :**

La stratégie de maintenance est l'ensemble des actions planifiées et systématiques visant à maintenir les équipements en bon état de fonctionnement et à minimiser les pannes et les arrêts de production. Il existe des normes qui définissent les bonnes pratiques en matière de stratégie de maintenance, telles que la norme NF EN 13306 et la norme FD X 60-000.

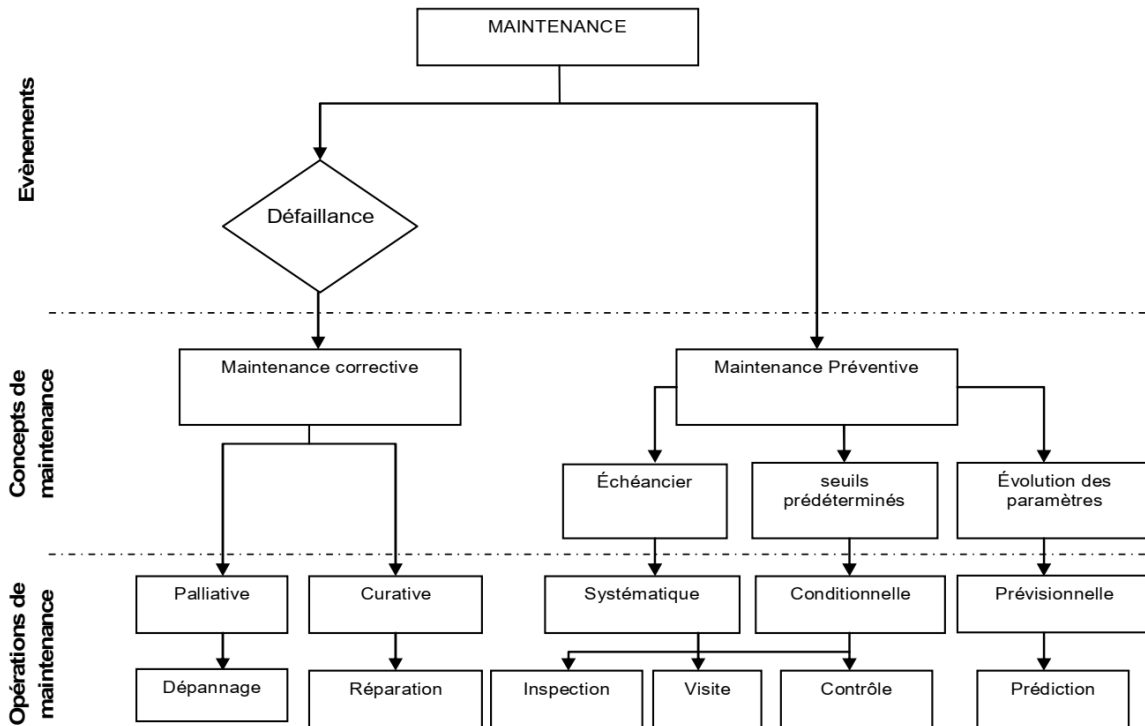
La norme NF EN 13306 est une norme européenne qui définit les termes et les définitions relatifs à la maintenance. Elle fournit des lignes directrices pour la gestion de la maintenance, notamment en matière de planification, d'exécution et de contrôle.

La norme FD X 60-000 est une norme française qui décrit la méthodologie à suivre pour élaborer une stratégie de maintenance. Elle fournit des lignes directrices pour la définition des objectifs de maintenance, la collecte et l'analyse des données, l'identification des modes de défaillance, la définition des tâches de maintenance et leur planification.

La stratégie de maintenance doit être adaptée aux besoins spécifiques de chaque entreprise et de chaque équipement. Elle doit être établie en prenant en compte les coûts, les risques et les impacts sur la production et la sécurité. Une bonne stratégie de maintenance

permet de prolonger la durée de vie des équipements, d'améliorer leur fiabilité et de réduire les coûts de maintenance et d'arrêts de production.

**IV.2.4 Les différents types de maintenance :**



**Figure IV.1 :** Classification des types de la maintenance.

**IV.2.4.1 La maintenance corrective :**

La maintenance corrective est une activité visant à réparer les dysfonctionnements ou les pannes d'un système, d'un équipement ou d'une machine. Elle intervient après la détection d'un problème et vise à rétablir le bon fonctionnement de l'élément défectueux.

La maintenance corrective peut être effectuée de différentes manières, selon la nature de l'incident et les ressources disponibles. Dans certains cas, elle peut nécessiter l'intervention d'un technicien spécialisé ou d'une équipe de maintenance. Dans d'autres cas, elle peut être réalisée par l'utilisateur lui-même à l'aide d'instructions fournies par le fabricant.

L'objectif principal de la maintenance corrective est de minimiser les temps d'arrêt et de rétablir rapidement la disponibilité et la fiabilité du système ou de l'équipement concerné. Cela implique généralement l'identification de la cause de la panne, la réparation ou le remplacement des composants défectueux, ainsi que des tests et des vérifications pour s'assurer que le problème a été résolu.

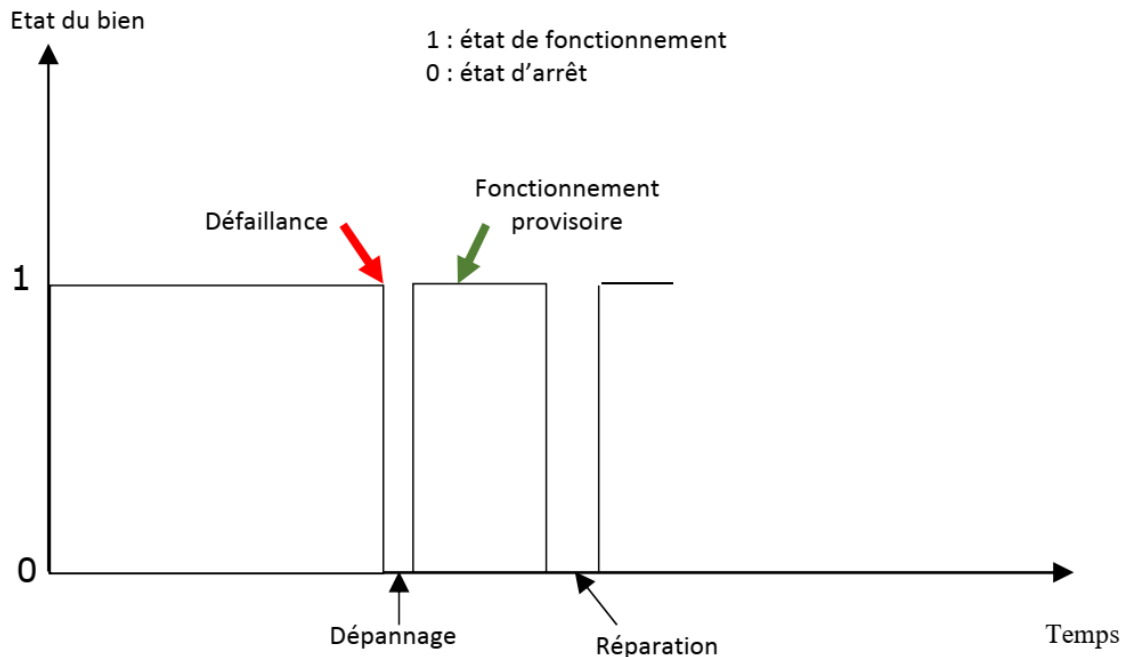


Figure VI .2 : Principe de la maintenance corrective.

### 1. Les différents types de maintenance corrective :

#### ➤ Maintenance palliative :

Il s'agit d'une intervention qui vise à réduire les effets d'une défaillance sans réparer complètement les équipements ou les systèmes. Cette intervention est généralement effectuée en attendant une réparation plus permanente ou pour maintenir une production minimale en cas de panne.

#### ➤ Maintenance curative :

Il s'agit d'une intervention qui vise à réparer les équipements ou les systèmes qui ont subi une défaillance. Cette intervention est généralement effectuée après l'apparition d'une panne ou d'une défaillance [42].

### 2. Les opérations de la maintenance corrective :

Les opérations de maintenance corrective sont des mesures prises pour corriger les dysfonctionnements ou les problèmes qui apparaissent dans certains systèmes ou équipements. Ces opérations visent à rétablir le fonctionnement normal du système ou de l'équipement et à assurer son bon fonctionnement, et comprennent les étapes suivantes :

- **Test** : Dans cette étape, le technicien effectue des tests pour confirmer la défaillance signalée et déterminer la nature du problème.
- **Détection** : Une fois le test effectué, le technicien détecte la cause sous-jacente du dysfonctionnement. Cela peut impliquer l'identification d'un

composant défectueux, d'une connexion lâche ou de tout autre problème qui a entraîné la panne.

- **Localisation** : Une fois que la cause du dysfonctionnement est identifiée, la localisation consiste à déterminer l'endroit précis où se trouve le problème. Cela peut impliquer l'inspection visuelle, l'utilisation d'instruments de mesure ou d'autres techniques pour localiser la source du problème.
- **Diagnostic** : Le diagnostic consiste à analyser les informations recueillies lors des étapes précédentes pour comprendre pleinement la nature du problème. Cela peut inclure l'identification des défauts, l'évaluation des dommages ou la détermination des facteurs contributifs.
- **Dépannage, réparation** : Après avoir diagnostiqué le problème, le technicien entreprend les mesures nécessaires pour résoudre la défaillance ou le dysfonctionnement. Cela peut impliquer la réparation ou le remplacement de composants défectueux, la réparation de connexions ou la résolution d'autres problèmes identifiés.
- **Contrôle** : Une fois la maintenance corrective effectuée, il est essentiel de procéder à des tests et à des vérifications pour s'assurer que le système ou l'équipement fonctionne correctement. Cela peut inclure des essais de fonctionnement, des mesures de performance ou d'autres procédures de contrôle qualité pour valider l'efficacité des réparations effectuées.
- **Amélioration** : Cette étape est souvent réalisée en parallèle avec les autres étapes de la maintenance corrective. Elle consiste à identifier des opportunités d'amélioration pour prévenir les problèmes futurs ou pour optimiser la performance du système. Cela peut impliquer des ajustements de conception, des mises à niveau de composants ou la mise en place de procédures de maintenance préventive.
- **Historique** : Il est important de documenter toutes les étapes et les informations relatives à la maintenance corrective, y compris les tests effectués, les problèmes détectés, les réparations effectuées et les actions d'amélioration entreprises. Cela permet de suivre l'historique de maintenance et de disposer d'une référence pour les futures interventions [43].

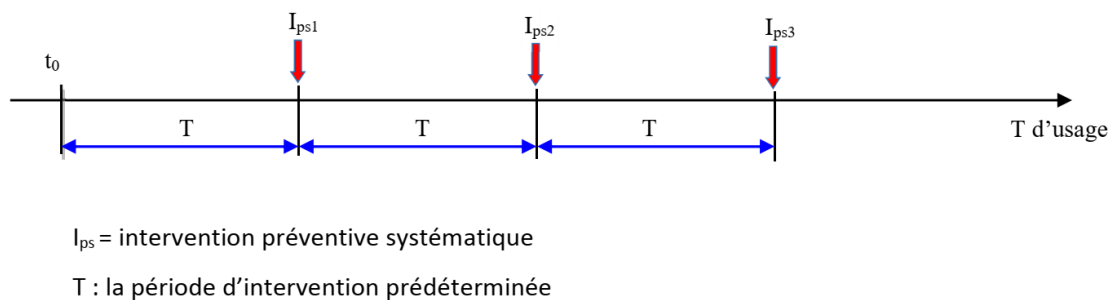
#### IV.2.4.2 Maintenance préventive (norme NF EN 13306) :

La maintenance préventive est une pratique visant à prévenir les pannes et à prolonger la durée de vie des équipements en effectuant régulièrement des actions de maintenance planifiées et programmées. Elle est définie par la norme NF EN 13306 comme "l'ensemble des actions de maintenance prévues et organisées, comprenant la surveillance, le nettoyage, le réglage, la lubrification, le remplacement de pièces usées et la vérification du bon fonctionnement".

## 1 Les différents types de maintenance préventive :

- **Maintenance préventive systématique :** Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de Maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un Échéancier, un calendrier déterminé a priori. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant L'échéance prédéterminée L'optimisation d'une maintenance préventive systématique Consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du Temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites... etc.

**En somme,** la maintenance systématique est une pratique essentielle pour assurer le fonctionnement fiable et efficace des équipements et des machines [44].



**Figure IV.3 :** Principe de la maintenance préventive systématique.

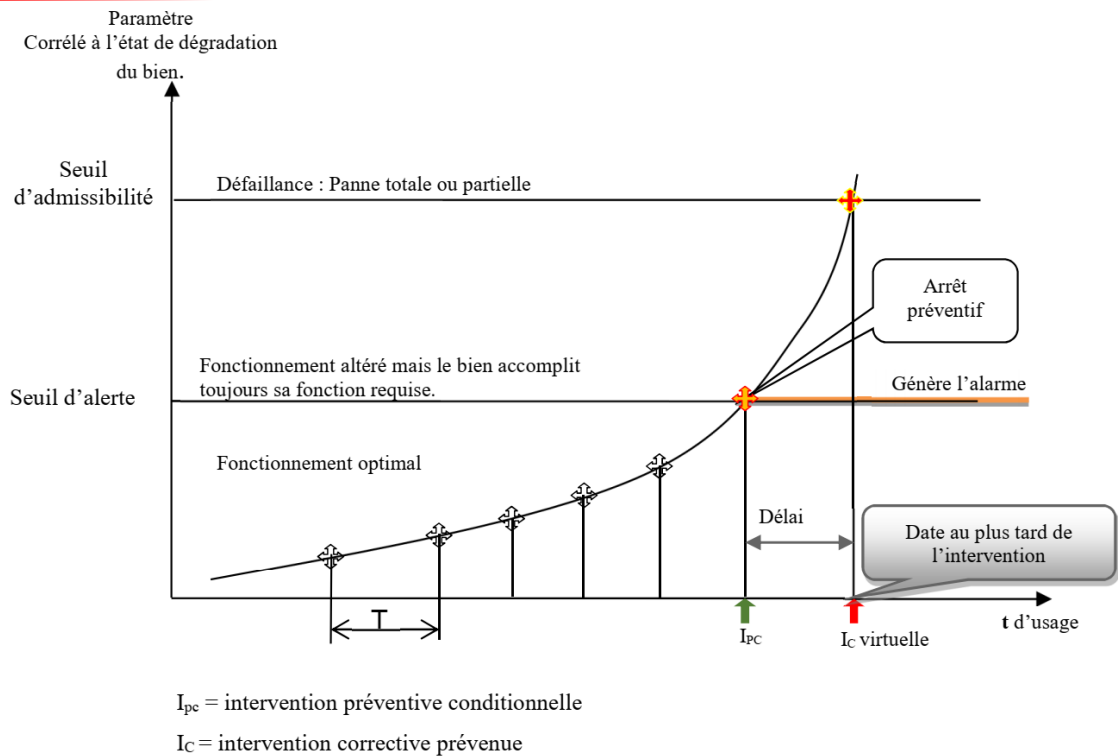
- **Maintenance préventive conditionnelle :**

La maintenance préventive conditionnelle est une stratégie de maintenance qui vise à détecter les défaillances potentielles avant qu'elles ne se produisent, en surveillant régulièrement les performances et l'état des équipements. Cette approche permet de planifier et d'exécuter des activités de maintenance avant qu'un problème ne se manifeste, réduisant ainsi les temps d'arrêt et les coûts associés.

La maintenance préventive conditionnelle repose sur la surveillance régulière des équipements à l'aide de capteurs et d'autres technologies de mesure. Les données collectées sont ensuite analysées pour détecter tout changement significatif dans les performances de l'équipement, ce qui peut indiquer une défaillance imminente. Les

Activités de maintenance peuvent alors être programmées en conséquence pour éviter les temps d'arrêt imprévus et minimiser les coûts de réparation [45].



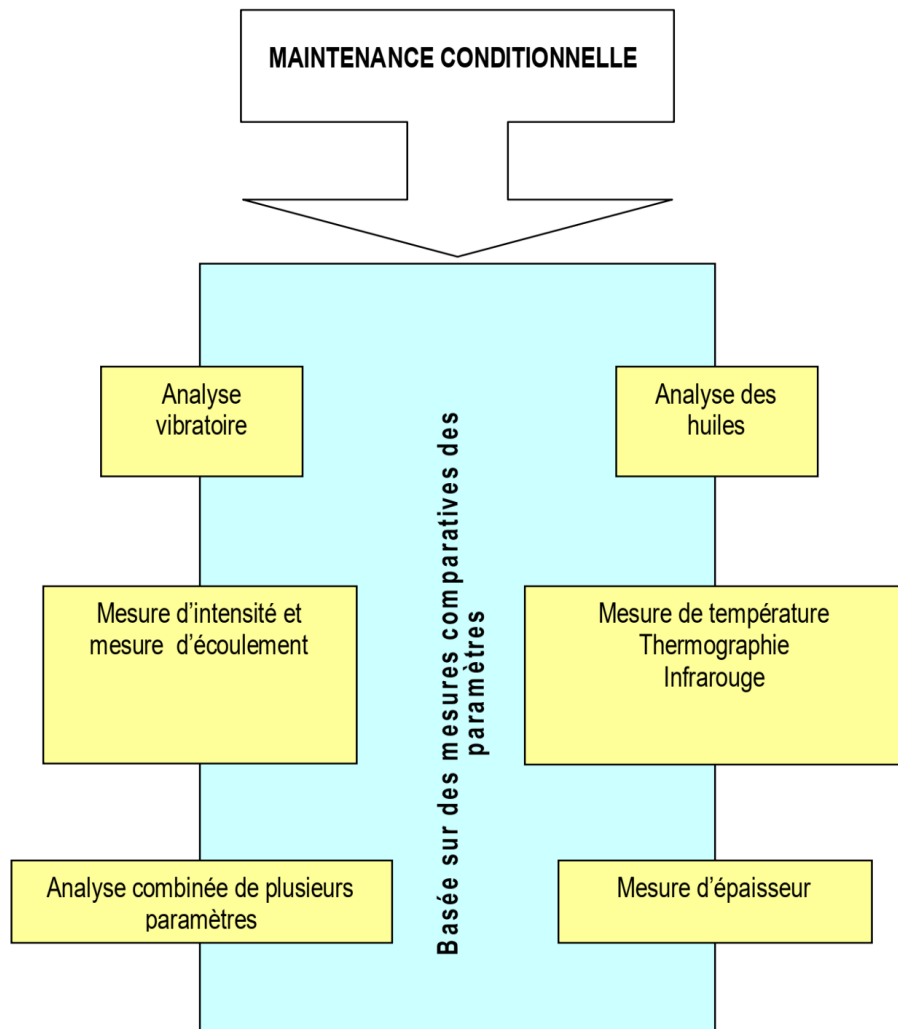


**Figure IV.4 :** Principe de la maintenance conditionnelle.

❖ **Outils de la maintenance préventive conditionnelle :**

Les outils de la maintenance préventive conditionnelle sont des technologies et des techniques utilisées pour surveiller l'état de santé des équipements et détecter les signes de défaillance avant qu'ils ne se produisent. Voici quelques exemples d'outils couramment utilisés :

- **Thermographie (thermovision),**
- **Analyse des lubrifiants,**
- **Analyse vibratoire.**



Figures VI.5 : types d'analyse

➤ **Maintenance préventive prévisionnelle :**

La maintenance préventive prévisionnelle est une stratégie de maintenance qui vise à anticiper les défaillances et les pannes en effectuant des inspections, des réparations et des remplacements réguliers des équipements et des machines avant qu'ils ne tombent en panne.

La maintenance préventive prévisionnelle permet de minimiser les temps d'arrêt, d'améliorer la fiabilité et la durée de vie des équipements, de réduire les coûts de maintenance, d'augmenter la sécurité et de préserver l'environnement. Elle est souvent utilisée dans les industries où la fiabilité des équipements est critique, telles que l'industrie manufacturière, l'industrie pétrolière et gazière, l'industrie minière et l'industrie des services publics [46].

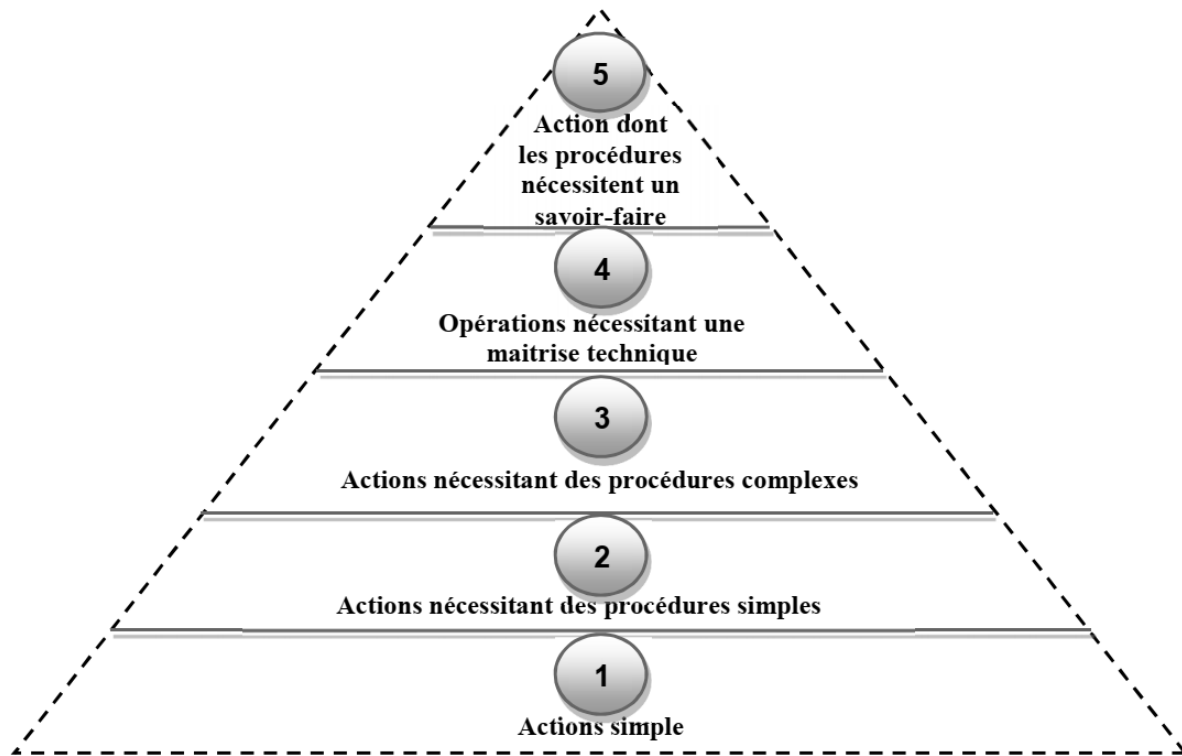
## 2. Les opérations de la maintenance préventive :

Les opérations de maintenance préventive comprennent généralement plusieurs activités importantes, notamment l'inspection, la visite, l'échange standard et la révision. Voici une description de chacune de ces opérations :

- **Inspection** : L'inspection consiste à examiner attentivement un équipement ou un système pour détecter tout signe de défaillance imminente, d'usure excessive ou de dommage. Cela peut impliquer l'observation visuelle, l'utilisation d'outils de mesure, des tests fonctionnels, etc. L'objectif de l'inspection est d'identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne se transforment en pannes majeures, ce qui permet de planifier des actions correctives appropriées.
- **Visite** : Une visite de maintenance préventive est une intervention périodique planifiée pour vérifier, nettoyer, lubrifier ou ajuster un équipement ou un système. Cette visite peut impliquer des actions telles que la vérification des niveaux de fluides, le resserrage des connexions, le nettoyage des filtres, le remplacement des courroies, etc. L'objectif principal de la visite est d'assurer le bon fonctionnement de l'équipement et de prévenir les pannes dues à une maintenance inadéquate.
- **Échange standard** : L'échange standard consiste à remplacer un composant ou une pièce d'équipement par une pièce préalablement réparée ou reconditionnée. Cette opération est généralement effectuée lorsque le composant atteint une durée de vie prédéterminée ou présente des signes de dégradation. L'échange standard permet de minimiser les temps d'arrêt en remplaçant rapidement les pièces usées par des pièces déjà préparées, ce qui réduit le temps nécessaire à la réparation sur site.
- **Révision** : La révision est une opération plus approfondie qui vise à restaurer l'équipement ou le système dans un état optimal de fonctionnement. Elle peut impliquer le démontage partiel ou complet de l'équipement, le remplacement de pièces usées, l'ajustement des paramètres, la vérification des circuits électriques, etc. La révision est généralement réalisée selon un calendrier préétabli ou en fonction des heures de fonctionnement de l'équipement, afin de maintenir ses performances et d'assurer sa durée de vie maximale.

### IV.2.5 Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000) :

La norme FD X 60-000 fait référence aux niveaux de maintenance en France. Ces niveaux de maintenance sont utilisés pour évaluer et déterminer les exigences en matière de maintenance des équipements et des installations dans différents domaines.



**FigureVI.6** : Les niveaux de la maintenance.

### **1<sup>er</sup> Niveau**

Ce niveau concerne les activités de maintenance de base qui peuvent être effectuées par les utilisateurs ou le personnel non spécialisé. Il s'agit généralement de tâches simples telles que le nettoyage, la lubrification, le remplacement des pièces d'usure courante, les inspections visuelles, etc. Les interventions à ce niveau visent à prévenir les défaillances mineures et à maintenir les performances optimales des équipements.

### **2<sup>ème</sup> Niveau**

Ce niveau implique des activités de maintenance plus complexes qui nécessitent des compétences techniques spécialisées. Il peut s'agir de réparations, de remplacements de composants, de calibrations, de réglages, etc. Ces tâches sont généralement effectuées par du personnel qualifié ou des techniciens formés. La maintenance de niveau 2 vise à rétablir le bon fonctionnement des équipements en cas de défaillance ou de performance réduite.

### **3<sup>ème</sup> Niveau**

Ce niveau correspond à la maintenance lourde et complexe, généralement effectuée par des spécialistes ou des ingénieurs qualifiés. Il peut s'agir de révisions majeures, de réparations en profondeur, de remplacements de pièces critiques, de rénovations, etc. La maintenance de niveau 3 est nécessaire lorsque les équipements subissent des pannes graves ou des dommages importants. Elle vise à restaurer les performances nominales des équipements et à prolonger leur durée de vie utile.

#### 4<sup>ème</sup> Niveau :

Les travaux de maintenance corrective ou préventive de grande envergure, à l'exclusion des activités de rénovation et de reconstruction, sont réalisés par une équipe hautement spécialisée, dans un atelier dédié équipé d'outils polyvalents tels que des équipements mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc. Si nécessaire, des bancs de mesure et des étalons de travail sont utilisés, ainsi que toute documentation pertinente, générale ou spécifique.

#### 5<sup>ème</sup> Niveau :

Les opérations de rénovation, de reconstruction ou de réparation majeure, par nature, sont confiées au constructeur lui-même ou à un service ou une entreprise spécialisée disposant des équipements de support spécifiés par le constructeur, étroitement liés à la fabrication du bien concerné.

### IV.3 Les différentes méthodes d'analyse utilisées en maintenance :

#### IV.3.1 La Méthode ABC (Diagramme de PARETO) :

##### IV.3.1.1 Principe :

La méthode ABC, également connue sous le nom de diagramme de Pareto, est un outil de gestion de la qualité et de prise de décision utilisé pour classer et prioriser les problèmes, les causes ou les éléments en fonction de leur impact ou de leur importance relative. Elle est largement utilisée dans les domaines de la gestion de projet, de la gestion de la qualité, de l'analyse des données et de l'amélioration des processus.

**Le principe** de la méthode ABC repose sur le principe de Pareto, également connu sous le nom de règle des 80/20, qui stipule que 80% des effets sont souvent causés par 20% des causes. Cela signifie que la plupart des résultats, des problèmes ou des opportunités proviennent d'un nombre restreint d'éléments.

##### IV.3.1.2 Méthodologie et démarche :

L'application de la méthode ABC implique généralement les étapes suivantes :

- ✓ Collecte des données.
- ✓ Classement.
- ✓ Calcul de la valeur cumulée.
- ✓ Tracé de la courbe ABC.
- ✓ Catégorisation ABC : Divisez les éléments en trois catégories principales.
- ✓ Analyse et prise de décision. [48]

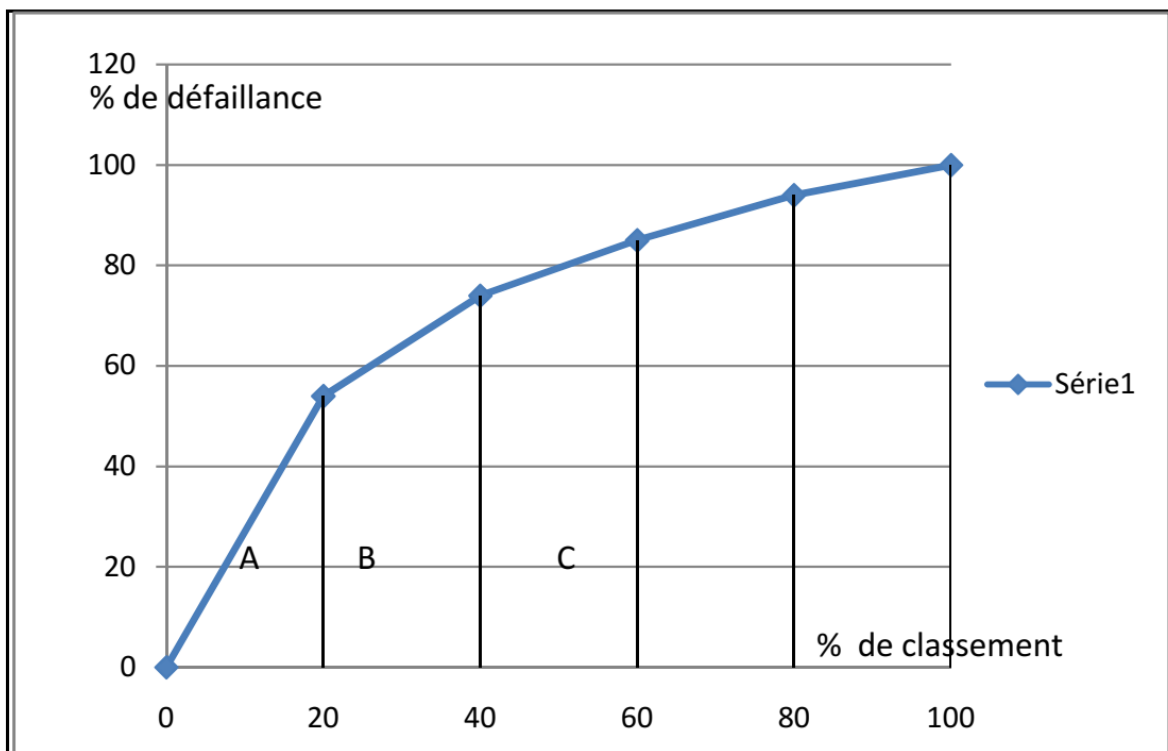
##### IV.3.1.3 Détermination des zones ABC :

##### IV.3.1.4 Tracé de la courbe ABC :

En utilisant le pourcentage cumulé, divisez les articles en trois zones :

- **Zone A** : Les articles représentant les 20 % supérieurs en termes de valeur, généralement responsables de 80 % de la valeur totale des stocks. Ils sont d'une grande importance stratégique et nécessitent une gestion étroite.
- **Zone B** : Les articles suivants, représentant environ 30 % de la valeur totale des stocks. Ils ont une importance moyenne et nécessitent une attention modérée.
- **Zone C** : Les articles restants, représentant environ 50 % de la valeur totale des stocks. Ils ont une faible importance et peuvent être gérés de manière plus souple.

Cette classification en zones ABC permet de hiérarchiser les articles en fonction de leur valeur relative, ce qui facilite la prise de décision en matière de gestion des stocks, notamment en ce qui concerne les niveaux de réapprovisionnement, les politiques de contrôle des stocks et la planification des inventaires.



Figures VI.7 : Courbe ABC.

#### IV.3.1.5 Les objectifs de diagramme de Pareto :

- ✓ Identifier les causes principales des problèmes.
- ✓ Prioriser les efforts d'amélioration.
- ✓ Communiquer les résultats.
- ✓ Suivre les progrès.

### **IV.3.2 Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) :**

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse systématique utilisée dans les industries et les secteurs d'activité pour évaluer et améliorer la fiabilité, la sécurité et les performances des processus, des produits ou des systèmes.

#### **IV.3.2.1 Principe de L'A.M.D. E**

Le principe de l'AMDEC repose sur une approche préventive visant à identifier les modes de défaillance potentiels, à évaluer leurs effets et à déterminer leur criticité afin de mettre en place des actions correctives ou préventives appropriées.

#### **IV.3.2.2 Objectifs de l'AMDEC :**

- ✓ **Identification des modes de défaillance potentiels :** L'AMDEC vise à identifier tous les modes de défaillance possibles d'un processus, d'un produit ou d'un système. Cela permet de prendre en compte les défaillances potentielles dès les premières étapes de la conception ou de l'exploitation.
- ✓ **Évaluation des effets des modes de défaillance :** L'AMDEC permet d'évaluer les conséquences potentielles des modes de défaillance identifiés. Cela inclut les effets sur la sécurité, la qualité, les performances, la durabilité et la satisfaction du client. L'objectif est de comprendre les impacts réels ou potentiels de chaque mode de défaillance.
- ✓ **Détermination de la criticité des modes de défaillance :** L'AMDEC vise à évaluer la criticité de chaque mode de défaillance en prenant en compte des critères tels que la gravité des effets, la fréquence d'occurrence et la capacité de détection. La criticité permet de hiérarchiser les modes de défaillance en fonction de leur importance et de leur urgence pour prendre des mesures appropriées.
- ✓ **Identification des actions correctives ou préventives :** Sur la base des résultats de l'AMDEC, des actions correctives ou préventives sont proposées pour réduire la criticité des modes de défaillance identifiés. Ces actions peuvent inclure des améliorations de conception, des modifications de processus, des tests supplémentaires, des formations ou d'autres mesures visant à éliminer ou à réduire les défaillances potentielles.
- ✓ **Prévention des défaillances et amélioration continue :** L'AMDEC vise à prévenir les défaillances en identifiant et en éliminant les sources de problèmes potentiels dès les premières étapes de développement ou d'exploitation. L'objectif ultime est d'améliorer la fiabilité, la sécurité, la qualité et la satisfaction du client

en mettant en place des mesures préventives et des actions d'amélioration continue.

- ✓ **Documentation et partage des connaissances** : L'AMDEC implique la documentation détaillée de toutes les étapes, des modes de défaillance identifiés, des évaluations des effets et des actions proposées. Cela permet de conserver les connaissances sur les défaillances potentielles et les mesures préventives, de les partager avec les parties prenantes concernées et d'assurer une traçabilité pour les futures références [48].

#### IV.3.2.3 Les types d'AMDEC :

- **AMDEC-Produit** : L'AMDEC-Produit est utilisée principalement dans l'industrie manufacturière pour évaluer les défaillances potentielles d'un produit. Il vise à identifier les modes de défaillance du produit, à évaluer leurs effets sur la qualité, la sécurité et la satisfaction du client, et à déterminer leur criticité. Cela permet de mettre en place des actions correctives ou préventives pour améliorer la fiabilité et la qualité du produit.
- **AMDEC-Processus** : L'AMDEC-Processus est utilisée pour analyser les processus opérationnels dans divers secteurs d'activité. Elle vise à identifier les modes de défaillance possibles dans le processus, à évaluer leurs effets sur la qualité, la productivité et la sécurité, et à déterminer leur criticité. L'objectif est d'optimiser les processus en identifiant et en éliminant les sources de défaillances potentielles.
- **AMDEC Moyen** : L'AMDEC Moyen est utilisée spécifiquement dans le domaine de la maintenance et de la gestion des équipements. Elle vise à évaluer les modes de défaillance potentiels des moyens de production, des machines ou des équipements, à évaluer leurs conséquences sur la disponibilité, la performance et la sécurité des moyens, et à déterminer leur criticité. Cela permet de planifier et de mettre en œuvre des actions de maintenance préventive ou corrective pour minimiser les temps d'arrêt et maximiser l'efficacité des moyens.
- **AMDEC Service** : L'AMDEC Service est utilisée pour évaluer les défaillances potentielles dans les processus de prestation de services, tels que les services de santé, les services logistiques ou les services financiers. Elle vise à identifier les modes de défaillance du service, à évaluer leurs effets sur la qualité du service, la satisfaction du client et la conformité aux exigences réglementaires, et à déterminer leur criticité. L'objectif est d'améliorer la fiabilité et la qualité des services fournis.
- **AMDEC Sécurité** : L'AMDEC Sécurité est utilisée spécifiquement pour évaluer les risques liés à la sécurité dans les systèmes, les installations ou les procédés industriels. Elle vise à identifier les modes de défaillance pouvant entraîner des accidents, des blessures ou des incidents de sécurité, à évaluer leurs conséquences potentielles et leur criticité en termes de sécurité, et à proposer des mesures de prévention ou de protection appropriées. L'objectif est d'améliorer la sécurité des opérations et de réduire les risques pour les personnes et l'environnement



## Chapitre IV : La maintenance industrielle et ses méthodes d'analyse

---

Chaque type d'AMDEC s'adapte à des domaines spécifiques et permet d'analyser les défaillances potentielles, d'évaluer leurs effets et de proposer des actions appropriées pour améliorer la fiabilité, la qualité, la sécurité ou la performance selon les besoins spécifiques de chaque domaine [49].

### IV.3.2.4 Démarche de l'AMDEC :

#### Etape 1 : initialisation

L'étape d'initialisation de l'AMDEC permet de mettre en place les bases nécessaires pour la réalisation de l'analyse approfondie des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité. Une fois cette étape terminée, l'équipe peut passer à l'étape suivante, qui est la collecte des données sur les modes de défaillance et leurs effets. En suivant la méthode suivante :

- ✓ Liste des modes de défaillance.
- ✓ Description des modes de défaillance.
- ✓ Évaluation des effets des modes de défaillance.
- ✓ Collecte des données existantes.
- ✓ Analyse des défaillances similaires.
- ✓ Utilisation d'outils d'analyse.

L'objectif de cette étape est de collecter des données pertinentes et complètes sur les modes de défaillance et leurs effets afin de pouvoir les évaluer plus précisément dans les étapes suivantes de l'AMDEC. La qualité et la précision des données collectées auront un impact sur l'efficacité et la fiabilité des résultats de l'analyse AMDEC.

#### Etape 2 : décomposition fonctionnelle

La décomposition fonctionnelle dans l'AMDEC permet de comprendre en détail le fonctionnement du produit, du processus ou du système, ainsi que les interactions entre les différentes parties. Cette étape fournit une base solide pour la prochaine étape de l'AMDEC, qui est l'identification des modes de défaillance potentiels.

#### Etape 3 : analyse AMDEC

L'analyse AMDEC est une étape cruciale de la démarche AMDEC car elle permet d'identifier les risques potentiels et de prendre des mesures préventives pour les atténuer. Une fois cette étape terminée, l'équipe peut passer à l'étape suivante, qui est la mise en œuvre des actions correctives et le suivi de leur efficacité.

#### Etape 4 : synthèses

L'étape de synthèse dans l'AMDEC permet de mettre en valeur les principaux résultats de l'analyse, de formuler des recommandations pertinentes et de mettre en place des mesures

d'amélioration. Une fois cette étape terminée, l'AMDEC peut être considérée comme complète, mais il est essentiel de suivre régulièrement les performances et de répéter le processus d'AMDEC si des changements significatifs sont apportés au produit, au processus ou au système [50].

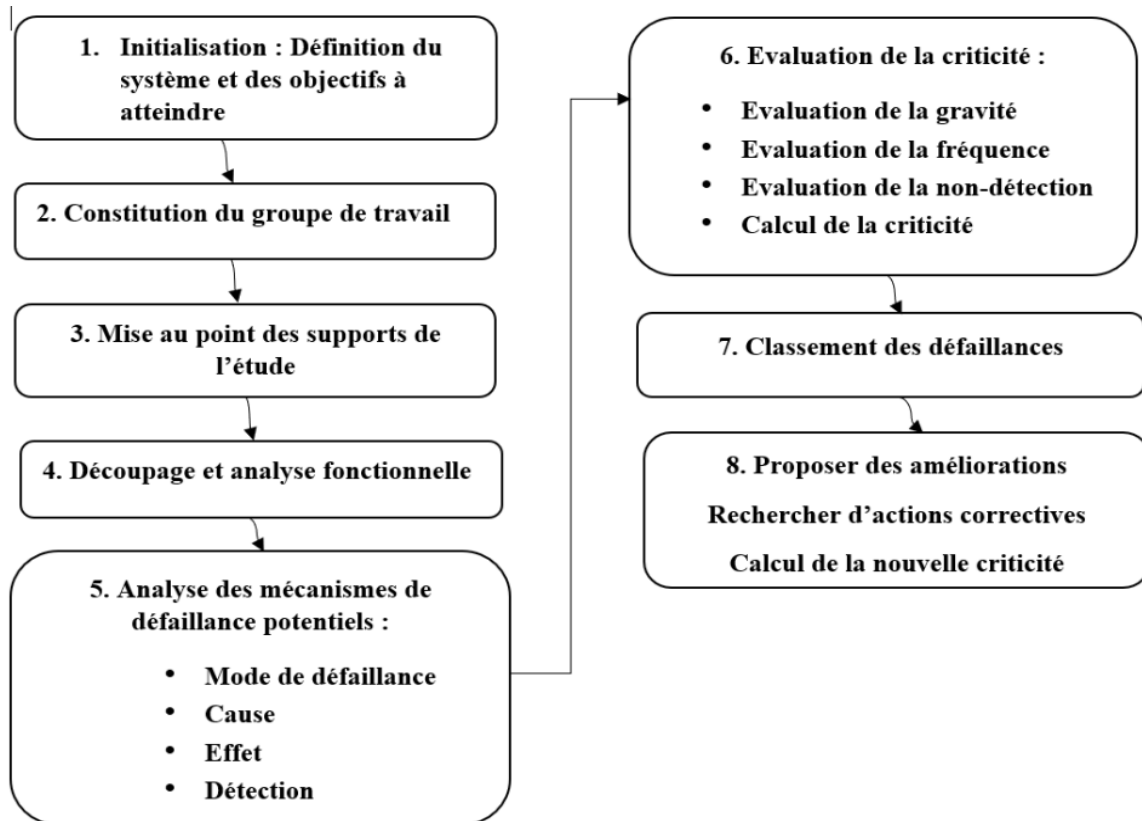


Figure IV.8 : Démarche de l'AMDEC.

### IV.3.3 Arbre de défaillances :

L'arbre de défaillances (aussi appelé arbre des causes) est une méthode d'analyse utilisée pour étudier les défaillances potentielles d'un système ou d'un processus. Il permet de visualiser les causes et les conséquences des défaillances et d'identifier les différentes combinaisons de facteurs qui peuvent conduire à une défaillance.

#### IV.3.3.1 Principe :

Le principe de base de l'arbre de défaillances est de représenter graphiquement les événements et les relations causales entre eux. L'arbre est construit à partir d'un événement indésirable ou d'une défaillance principale, appelée l'événement top. Ensuite, les facteurs ou les événements qui peuvent conduire à cette défaillance sont identifiés et représentés sous forme de branches.

**Les branches peuvent être de deux types :** les événements de base et les portes logiques. Les événements de base représentent des causes individuelles qui peuvent contribuer à la

défaillance, tandis que les portes logiques permettent de combiner les événements de base pour représenter des combinaisons de causes possibles.

Il existe différents types de portes logiques utilisées dans la construction de l'arbre de défaillances, notamment les portes ET, les portes OU et les portes NON. Les portes ET indiquent que tous les événements d'entrée doivent se produire pour que l'événement de sortie se produise, tandis que les portes OU indiquent que l'un des événements d'entrée suffit pour que l'événement de sortie se produise. Les portes NON sont utilisées pour représenter des événements inverses.

L'arbre de défaillances permet d'identifier les combinaisons de causes qui peuvent conduire à une défaillance et de quantifier les probabilités de ces combinaisons en utilisant des techniques d'analyse de fiabilité. Il peut également être utilisé pour évaluer l'efficacité des mesures de prévention et de mitigation des risques [51].

**En résumé**, le principe de l'arbre de défaillances consiste à représenter graphiquement les causes et les conséquences des défaillances potentielles d'un système ou d'un processus, en utilisant des événements de base et des portes logiques pour décrire les relations causales. Cela permet d'analyser et d'évaluer les risques, ainsi que de proposer des mesures de prévention et de mitigation.

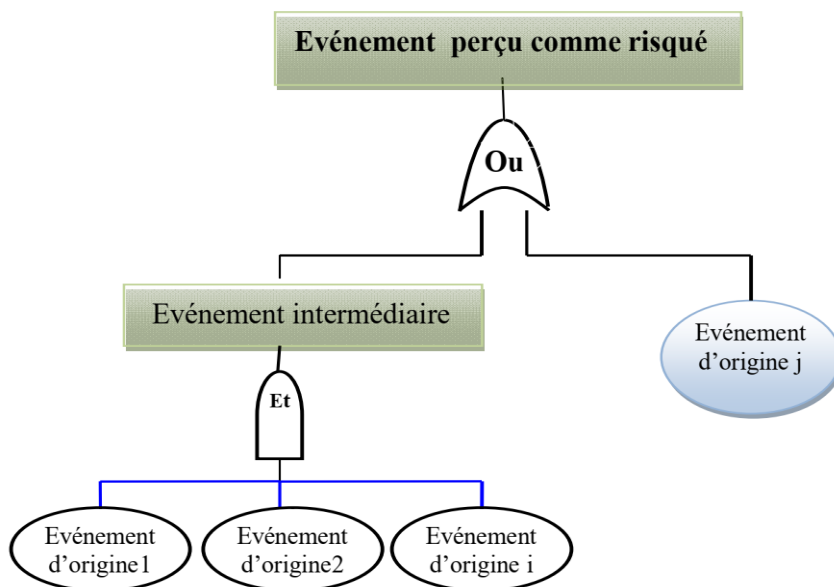


Figure IV.9 : exemple d'arbre de défaillance [54].

#### IV.3.3.2 Construction d'un arbre de défaillance :



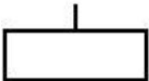





La construction d'un arbre de défaillance suit généralement les étapes suivantes :

- ✓ Définir l'événement top : Identifiez la défaillance principale que vous souhaitez étudier. C'est l'événement indésirable qui sera placé en haut de l'arbre.
- ✓ Identifier les événements de base : Identifiez les causes individuelles qui peuvent contribuer à la défaillance. Ce sont les événements de base qui seront les feuilles

de l'arbre. Il est important d'être exhaustif dans l'identification de ces événements et de les décrire de manière claire et spécifique.

- ✓ Représenter les portes logiques : Identifiez les relations causales entre les événements de base en utilisant les portes logiques appropriées. Les portes logiques les plus couramment utilisées sont les portes ET, OU et NON.
- ✓ La porte ET est utilisée lorsque tous les événements d'entrée doivent se produire pour que l'événement de sortie se produise. Cela peut représenter une combinaison de causes nécessaires pour la défaillance.
- ✓ La porte OU est utilisée lorsque l'un des événements d'entrée suffit pour que l'événement de sortie se produise. Cela peut représenter plusieurs causes possibles conduisant à la défaillance.
- ✓ La porte NON est utilisée pour représenter un événement inverse, c'est-à-dire l'absence d'un événement.
- ✓ Organiser les événements : Organisez les événements de base et les portes logiques de manière logique, en reliant les événements avec les portes appropriées. Vous pouvez utiliser des lignes pour représenter les connexions entre les événements. La syntaxe des arbres de défaillances est décrite dans la Tableau (IV.1)

**Tableau IV.1:** Syntaxe des arbres de défaillance.

Événement / report	Dénomination	Portes	Dénomination
	Événement de base		Porte « ET »
	Événement-sommet ou événement intermédiaire		Porte « OU »
	Report (sortie)		Porte « OU exclusif »
	Le sous-arbre situé sous ce « drapeau » est à dupliquer ...		
	Report (entrée)		Porte « combinaison »
	...à l'endroit indiqué par ce second drapeau		

- **Analyser l'arbre :** Analysez l'arbre de défaillances pour évaluer les combinaisons de causes possibles, les voies de propagation des défaillances et les probabilités associées. Vous pouvez utiliser des techniques d'analyse de fiabilité pour quantifier les probabilités des événements.
- **Proposer des mesures de prévention et de mitigation :** Utilisez les résultats de l'analyse de l'arbre de défaillances pour proposer des mesures de prévention et de mitigation des

risques. Identifiez les événements ou les combinaisons d'événements qui ont les probabilités les plus élevées et concentrez-vous sur les actions visant à les éviter ou à les réduire.

### IV.3.4 Diagramme cause-effets:

#### IV.3.4.1 Définition :

Le diagramme d'Ishikawa, également connu sous le nom de diagramme en arêtes de poisson ou diagramme de causes et effets, est un outil de qualité utilisé pour identifier et visualiser les causes possibles d'un problème ou d'un effet indésirable. Le diagramme d'Ishikawa est souvent utilisé dans le cadre de la méthodologie de résolution de problèmes connue sous le nom de "méthode des 5 pourquoi".

#### IV.3.4.2 Diagramme d'Ishikawa :

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

✓ **Main-d'œuvre (Manpower) :**

Cette catégorie concerne les causes liées aux personnes, comme le manque de compétences, le manque de formation, le manque de motivation ou les problèmes de communication entre les membres du personnel.

✓ **Matériel (Materials) :**

Cette catégorie concerne les causes liées aux matières premières, aux outils, aux machines et à tout autre équipement nécessaire pour effectuer une tâche. Par exemple, des problèmes de qualité des matériaux utilisés ou des défaillances des machines peuvent être identifiés dans cette catégorie.

✓ **Méthodes (Methods) :**

Cette catégorie concerne les causes liées aux processus et aux méthodes de travail. Il peut s'agir de procédures mal définies, de méthodes inefficaces, de mauvaises séquences d'opérations ou de l'absence de normes claires.

✓ **Milieu (environnement) :**

Catégorie concerne les causes liées à l'environnement de travail, y compris les conditions physiques, les facteurs externes et les contraintes environnementales. Cela peut inclure des facteurs tels que la température, l'humidité, l'éclairage, le bruit ou d'autres conditions de travail spécifiques.

✓ **Matière :**

Cette catégorie concerne les causes liées à la collecte de données, aux mesures et aux systèmes de contrôle utilisés pour évaluer la performance et la qualité. Cela peut inclure des problèmes tels que des mesures inexactes, des systèmes de surveillance inadéquats ou des indicateurs de performance mal définis [52].

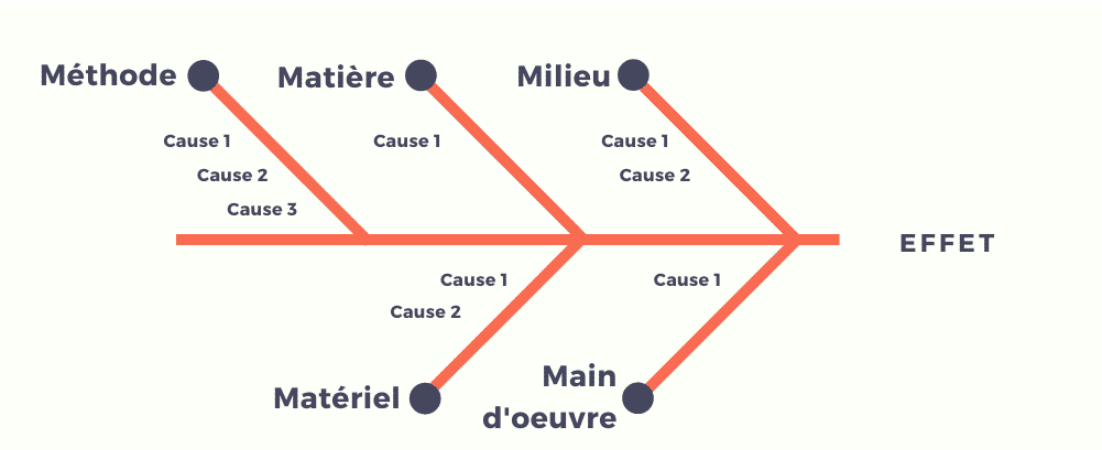


Figure IV.10 : Diagramme d'Ishikawa.

### IV.3.5 La méthode de QQQQCP :

#### IV.3.5.1 Définition :

La méthode QQQQCP est un acronyme qui représente les premières lettres des mots-clés en français pour les questions à poser lors de l'analyse d'une situation. Chaque lettre correspond à une question spécifique. Voici la signification de chaque lettre.

- **Quoi ?** : Cette question vise à identifier les faits ou les éléments concrets concernant le sujet. Elle permet d'obtenir des informations sur ce qui se passe réellement.
- **Qui ?** : Cette question porte sur les personnes ou les acteurs impliqués dans la situation étudiée. Elle permet de déterminer les personnes concernées, les parties prenantes et les responsabilités.
- **Où ?** : Cette question concerne le lieu ou le cadre spatial de la situation. Elle permet de situer géographiquement le sujet et d'identifier les lieux pertinents.
- **Quand ?** : Cette question porte sur le moment ou la période temporelle de la situation. Elle permet de déterminer la chronologie des événements, les échéances et les délais.
- **Comment ?** : Cette question vise à comprendre les mécanismes, les processus ou les méthodes utilisées dans la situation. Elle permet d'analyser les étapes, les procédures ou les techniques impliquées.
- **Pourquoi ?** : Cette question cherche à déterminer les raisons, les motivations ou les objectifs liés à la situation. Elle permet de comprendre les facteurs qui influencent le sujet et les justifications derrière les actions entreprises.



Figure IV.11 : Diagramme QQQQCP.

#### IV.4 Conclusion :

En conclusion, la maintenance conditionnelle offre de nombreux avantages en termes de réduction des temps d'arrêt, d'optimisation des coûts, d'amélioration de la disponibilité des équipements et de renforcement de la sécurité. Cependant, une planification minutieuse, des investissements adéquats et une gestion efficace des données sont essentiels pour garantir le succès de la mise en œuvre de la maintenance conditionnelle.

# **Chapitre V**

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



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

### V.1 Introduction :

Lors de notre récente visite sur le terrain au centre de conversion de tension électrique STE Ghardaïa, nous avons eu l'occasion d'explorer diverses méthodes d'analyse quantitative et qualitative utilisées pour étudier les distorsions. Et nous avons parlé de trois méthodes :

**ABC (Activités à Valeur Ajoutée, Bénéficiaires, Contraintes), AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et QQQQCP (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi).** Ces approches fournissent des cadres structurés pour évaluer et comprendre les problèmes et les défis rencontrés dans le fonctionnement du centre de conversion de tension électrique.

L'utilisation d'un appareil d'imagerie thermique électrique nous a permis de détecter les points chauds, qui sont des zones présentant des températures anormalement élevées consiste à **1<sup>ère</sup> degrés, 2<sup>ème</sup> degrés et 3<sup>ème</sup> degrés.** Cette capacité est essentielle pour identifier les problèmes potentiels tels que les surcharges, les dysfonctionnements des équipements ou les pertes d'énergie. En détectant ces points chauds, nous avons pu évaluer l'efficacité de l'installation et contribuer à l'optimisation de ses performances.

### V.2 Historique du point chaud :

Le tableau suivant (V.1) montre l'historique des points chauds de la période 09/03/2020 jusqu'à 16/08/2021.

Tableau V.1 : l'historique du point chaud.

N°	Localisation du point chaud	Degrés du point chaud	Température [°C]	Date de signalisation	Date de la levée	Temps de l'intervent (h)	Fréquence Pt chaud
01	Plage du circuit bouchon coté haut phase 4 de la travée 220kV Hassi Rmel	3 <sup>ème</sup>	44,5	09/03/2020	09/03/2020	9	1
02	Plage du circuit bouchon coté haut phase 8 de la travée 220kV Hassi Rmel	3 <sup>ème</sup>	40,5	22/04/2020	22/04/2020	9	1
03	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaine	2 <sup>ème</sup>	20,6	11/05/2020	19/05/2020	9	1

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

	d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 4 de la travée 60kV Guerara II						
04	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaine d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	2 <sup>ième</sup>	6,8	09/06/2020	19/06/2020	9	1
05	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre 1 Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	2 <sup>ième</sup>	8,8	22/07/2020	28/07/2020	9	1
06	Mâchoire du sectionneur barre 2 phase 4 de la travée 60kV Arrivée TR 2	2 <sup>ième</sup>	16,7	17/08/2020	26/08/2020	8	1
07	Mâchoire du sectionneur barre 2 phase 0 de la travée 60kV Arrivée TR 2	2 <sup>ième</sup>	16,3	11/09/2020	17/09/2020	8	1
08	Plage du circuit bouchon coté du sectionneur de ligne phase 4 de la travée 60kV Arrivée Centrale 2	2 <sup>ième</sup>	28,3	02/05/2021	12/05/2021	15	2
09	Plage du sectionneur de ligne coté TC phase 0 de la travée 60kV Arrivée Centrale 2	2 <sup>ième</sup>	16,6	07/06/2021	15/06/2021	7	1
10	Plage du manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur	2 <sup>ième</sup>	33	20/06/2021	26/06/2021	7	1

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

	<b>coté sectionneur de barre coté haut Phase 4 de la travée 60kV Arrivée Centrale 1</b>						
11	Raccord de la borne 30kV phase 8 de la travée 30kV TR 3	2 <sup>ième</sup>	18	02/07/2021	08/07/2021	10	2
12	Raccord de la borne 30kV phase 0 de la travée 30kV TR 3	3 <sup>ième</sup>	41,4	25/08/2021	25/08/2021	6	1
13	Raccord de la borne 30kV phase 4 de la travée 30kV TR 3	2 <sup>ième</sup>	29,4	11/10/2021	16/10/2021	9	2
14	Plage bifilaire de la borne 30kV phase 4 de la Cabine mobile	2 <sup>ième</sup>	24	20/10/2021	29/10/2021	5	1
15	Plage du sectionneur d'isolement coté TC phase 8 de l'arrivée TR 2	2 <sup>ième</sup>	29	02/06/2022	09/06/2022	3	1
16	Fixation de la boîte d'extrémité du câble centrale phase 4 du TR 1	2 <sup>ième</sup>	30	04/07/2022	10/07/2022	2	1
17	Raccord du câble TC coté sectionneur de ligne phase 4 de la travée centrale 1	2 <sup>ième</sup>	30	16/08/2022	27/08/2022	1	1

### V.3 L'application des méthodes d'analyse :

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

Voici les étapes de base pour appliquer la méthode de la courbe ABC :

- ✓ Collecte des données.
- ✓ Classement.
- ✓ Calcul de la valeur cumulée.
- ✓ Tracé de la courbe ABC.
- ✓ Catégorisation ABC : Divisez les éléments en trois catégories principales.
- ✓ Analyse et prise de décision.

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

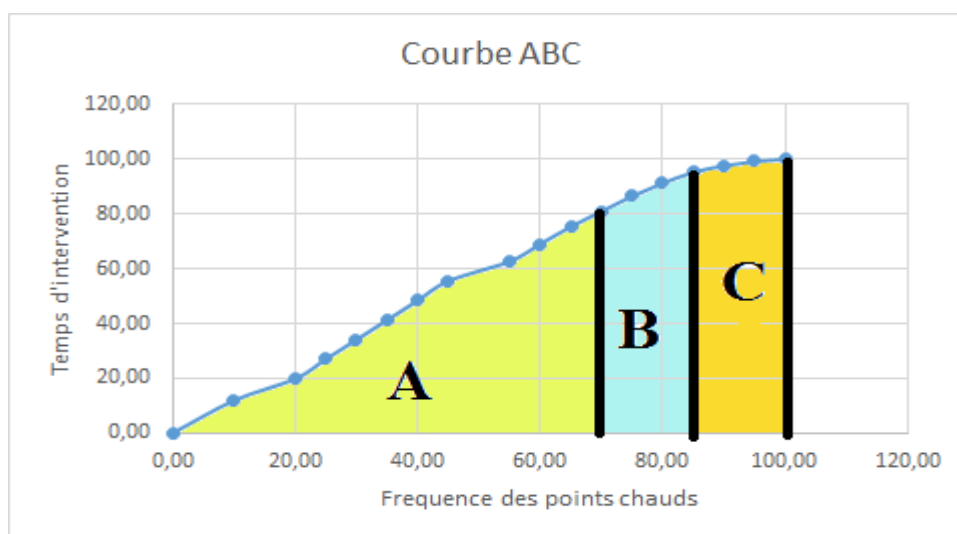
L'application de la méthode est représentée dans le tableau suivant (V.2) :

**Tableau V.2 : Analyse ABC (Pareto).**

N°	Désignation points chauds	La fréquence du point chaud	Temps d'intervention (h)	Cumul de fréquence	Cumul de temps d'arrêt	Cumul de fréquence en %	Cumul de temps d'arrêt en %	Zone
						0,00	0,00	<b>A</b>
1	Plage du circuit bouchon coté du sectionneur de ligne phase 4 de la travée 60kV Arrivée Centrale 2	2	15	2	15	10,00%	11,90%	
2	Raccord de la borne 30kV phase 8 de la travée 30kV TR 3	2	10	4	25	20,00%	19,84	
3	Plage du circuit bouchon coté haut phase 4 de la travée 220kV Hassi Rmel	1	9	5	34	25,00%	26,98%	
4	Plage du circuit bouchon coté haut phase 8 de la travée 220kV Hassi Rmel	1	9	6	43	30,00%	34,13%	
5	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaîne d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 4 de la travée 60kV Guerara II	1	9	7	52	35,00%	41,27%	
6	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaîne d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	1	9	8	61	40,00%	48,41%	
7	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre 1 Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	1	9	9	70	45,00%	55,56%	
8	Raccord de la borne 30kV phase 4 de la travée 30kV TR 3	2	9	11	79	55,00%	62,70%	
9	Mâchoire du sectionneur barre 2 phase 4 de la	1	8	12	87	60,00%	69,05%	

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

	travée 60kV Arrivée TR 2							
10	Mâchoire du sectionneur barre 2 phase 0 de la travée 60kV Arrivée TR 2	1	8	13	95	65,00%	75,40%	
11	Plage du sectionneur de ligne coté TC phase 0 de la travée 60kV Arrivée Centrale 2	1	7	14	102	<b>70,00%</b>	<b>80,95%</b>	
12	Plage du manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre coté haut Phase 4 de la travée 60kV Arrivée Centrale 1	1	7	15	109	75,00%	86,51%	<b>B</b>
13	Raccord de la borne 30kV phase 0 de la travée 30kV TR 3	1	6	16	115	80,00%	91,27%	
14	Plage bifilaire de la borne 30kV phase 4 de la Cabine mobile	1	5	17	120	<b>85,00%</b>	<b>95,24%</b>	
15	Plage du sectionneur d'isolement coté TC phase 8 de l'arrivée TR 2	1	3	18	123	90,00%	97,62%	<b>C</b>
16	Fixation de la boîte d'extrémité du câble centrale phase 4 du TR 1	1	2	19	125	95,00%	99,21%	
17	Raccord du câble TC coté sectionneur de ligne phase 4 de la travée centrale 1	1	1	20	126	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	



**Figure V.1 :** La courbe d'ABC (courbe de Pareto).

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

---

### V.3.1.1 L'interprétation des résultats :

La courbe ABC résultante repose sur le principe de la loi de Pareto, également connue sous le nom de principe des 80/20. Selon cette loi, environ 80 % des effets sont occasionnés par 20 % des causes. Dans le contexte de la courbe ABC, cela signifie que 20 % des éléments d'un ensemble sont responsables de 80 % de sa valeur, de son impact ou de son importance.

Dans notre cas étudié la courbe ABC est généralement divisé en trois catégories : A, B et C.

➤ **Catégorie A :**

**80,95%** des temps d'intervention, sont à cause des **70%** des points chauds, La catégorie A contient un large éventail d'anomalies représentées par des points chauds qui ont le temps de dysfonctionnement les plus important. Ils sont considérés comme des points critiques qui ont un impact significatif sur la durée de fonctionnement.

➤ **Catégorie B**

**14,29%** d'intervention est dû au **15%** des points chauds, c.-à-d. cette zone exprime des points chauds moins importants que celles de la zone A.

➤ **Catégorie C :**

**04,76%** d'intervention ont causées par **15%** des points chauds c-à-d que cette zone contient des points chauds moins importants par rapport aux zones A et B.

Pour maintenir le réseau électrique à haute tension après l'utilisation de la technologie d'imagerie thermique dans l'amélioration de la maintenance conditionnelle et l'analyse des dysfonctionnements par la méthode ABC, voici quelques solutions possibles :

- ✓ **Réparation ou remplacement des équipements défectueux**, Cela peut impliquer la réparation des composants endommagés ou la substitution des équipements défectueux relatifs à la zone A de la courbe de Pareto.
- ✓ **Surveillance continue** : La maintenance conditionnelle ne se limite pas à une seule inspection. Il est important de mettre en place un système de surveillance continue pour détecter tout signe de dysfonctionnement futur concernés par la catégorie A.
- ✓ Assure les pièces de rechange pour les éléments de la catégorie A.

**En adoptant une approche ABC**, l'entreprise peut prioriser ses ressources et son temps pour se concentrer sur les points chauds les plus critiques. Cela permettra de réduire les temps d'arrêt, d'améliorer la disponibilité des équipements et d'optimiser la performance globale de la maintenance conditionnelle appliquée par l'entreprise.

### V.3.2 Application de La méthode AMDEC :

La méthode AMDEC est couramment utilisée dans les industries manufacturières, l'ingénierie, l'automobile, l'aérospatiale et d'autres domaines où la fiabilité et la sécurité sont des préoccupations majeures.

L'application de la méthode AMDEC se déroule généralement en plusieurs étapes :

- Sélection de l'objet d'analyse.
- Constitution de l'équipe AMDEC.

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

---

- Identification des modes de défaillance.
- Évaluation des effets des défaillances.
- Estimation de la gravité.
- Identification des causes de défaillance.
- Estimation de la fréquence d'occurrence.
- Estimation de la détection.
- Calcul du niveau de criticité.
- Planification des actions.

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

**Tableau V.3 :** L'analyse du système par la méthode AMDEC.

Elément	Type du point chaud	Cause du point chaud	Effet	Les indices de la criticité			La criticité (C)
				F	G	D	
Plage du circuit bouchon coté haut Phase 4 de la travée 220kV Hassi Rmel	3 <sup>ème</sup> degrés, 44,5°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Usure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Perte de l'alimentation électrique HTB et du système téléconduite</li> <li>➤ Fusion Plage de fixation</li> </ul>	3	2	2	<b>12</b>
Plage du circuit bouchon coté haut Phase 8 de la travée 220kV Hassi Rmel	3 <sup>ème</sup> degrés, 40,5°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Usure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Perte de l'alimentation électrique HTB et du système téléconduite</li> <li>➤ Fusion Plage de fixation</li> </ul>	3	2	2	<b>12</b>
Plage du manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté Sectionneur de barre coté haut Phase 4 de la travée 60kV Arrivée Centrale 1	2 <sup>ème</sup> degrés, 33°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Mauvais serrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fusion du manchon d'encrage de la descente</li> <li>➤ Manque de tension</li> <li>➤ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	3	4	3	<b>36</b>
Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaine d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	2 <sup>ème</sup> degrés, 6,8°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Mauvais sertissage</li> <li>• Vent violent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Surintensité</li> <li>➤ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	3	4	3	<b>36</b>
Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre 1 Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	2 <sup>ème</sup> degrés, 8,8°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Mauvais sertissage</li> <li>• Vent violent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Surintensité</li> <li>➤ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	3	4	3	<b>36</b>
Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaine	2 <sup>ème</sup> degrés, 20,6°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Mauvais sertissage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Surintensité</li> <li>➤ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	3	4	3	<b>36</b>



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

d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 4 de la travée 60kV Guerara II		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vent violent</li> </ul>					
Mâchoire du sectionneur barre 2 Phase 0 de la travée 60kV Arrivée TR 2	2 <sup>ième</sup> degrés, 16,3°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Vibration</li> <li>• Mauvais serrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manque de l'alimentation électrique</li> <li>➤ Echauffement TR 2</li> </ul>	2	3	1	<b>6</b>
Mâchoire du sectionneur barre 2 Phase 4 de la travée 60kV Arrivée TR 2	2 <sup>ième</sup> degrés, 16,7°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Vibration</li> <li>• Mauvais serrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manque de l'alimentation électrique</li> <li>➤ Echauffement TR 2</li> </ul>	2	3	1	<b>6</b>
Plage du sectionneur de ligne coté TC phase 0 de la travée 60kV Arrivée Centrale 2	2 <sup>ième</sup> degrés, 16,6°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibration</li> <li>• Mauvais serrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manque phase</li> <li>➤ Déséquilibre réseau électrique</li> </ul>	1	2	3	<b>6</b>
Raccord de la borne 30kV TR 3 phase 0	3 <sup>ième</sup> degrés, 41,4°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibration</li> <li>• Mauvais serrage</li> <li>• Surintensité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fusion Raccord</li> <li>➤ Echauffement TR 3</li> <li>➤ Déclenchement et risque Explosion TR</li> </ul>	4	4	1	<b>16</b>
Raccord de la borne 30kV TR 3 phase 4	2 <sup>ième</sup> degrés, 29,4°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibration</li> <li>• Mauvais serrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fusion Raccord</li> <li>➤ Echauffement TR 3</li> <li>➤ Déclenchement et risque Explosion TR</li> </ul>	4	4	1	<b>16</b>
Raccord de la borne 30kV TR 3 phase 8	3 <sup>ième</sup> degrés, 49°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibration</li> <li>• Mauvais serrage</li> <li>• Surintensité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fusion Raccord</li> <li>➤ Echauffement TR 3</li> <li>➤ Déclenchement et risque Explosion TR</li> </ul>	4	4	1	<b>16</b>
Raccord du câble TC coté sectionneur de ligne phase 4 de la travée centrale 1	2 <sup>ième</sup> degrés, 30°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosion</li> <li>• Mauvais serrage</li> <li>• Surintensité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Chute du câble</li> <li>➤ Perte protection réseau</li> <li>➤ Perte système téléconduite</li> <li>➤ Perte Alimentation Poste</li> </ul>	1	4	2	<b>8</b>
Plage bifilaire de la borne 30kV phase 4 de la Cabine mobile	2 <sup>ième</sup> degrés, 24°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibration</li> <li>• Corrosion</li> <li>• Pollution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Séparation CM</li> <li>➤ Déclenchement départ client MT</li> </ul>	1	3	2	<b>6</b>

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

Plage du sectionneur d'isolement coté TC phase 8 de l'arrivée TR 2	2 <sup>ième</sup> degrés, 29°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pollution</li> <li>• Corrosion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Insuffisance de la Puissance électrique</li> <li>➤ Perte Alimentation Etage 60 kV</li> </ul>	1	3	3	<b>9</b>
Fixation de la boîte d'extrémité du câble centrale phase 4 du TR 1	2 <sup>ième</sup> degrés, 30°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvais sertissage</li> <li>• Corrosion</li> <li>• Surintensité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fusion de câble central</li> <li>➤ Manque de tension phase</li> <li>➤ Déséquilibre réseau</li> </ul>	1	4	2	<b>8</b>

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

---

### V.3.2.1 L'interprétation des résultats :

Après avoir analysé les données du tableau V.2, nous avons constaté que la sévérité des points chauds présente des variations de 6 à 36. Par conséquent, pour assurer un fonctionnement optimal du système, le service de maintenance doit mettre en œuvre les mesures suivantes :

- **Mettre en place une vérification quotidienne** à l'aide de la thermographie pour détecter les éventuelles variations thermiques anormales.
- **Appliquer une maintenance préventive régulière, notamment conditionnelle** pour prévenir les pannes potentielles et prolonger la durée de vie des composants.
- **Effectuer des interventions de maintenance corrective** sur les éléments présentant une sévérité de 36, en accordant une attention particulière aux composants de troisième degré (ceux ayant la plus haute sévérité).
- **Mettre en place des mesures de protection** contre la corrosion des composants électriques afin de minimiser les risques des défaillances liés à ce phénomène thermique.
- **Mettre en place des mesures de protection** contre les problèmes tels que le mauvais serrage, la pollution et les vibrations, qui peuvent potentiellement affecter la performance et la durée de vie des composants.

### V.3.3 Application de La méthode QQQQCP :

En utilisant la méthode QQQQCP, on peut obtenir une vision globale d'une situation, en posant des questions clés pour rassembler des informations pertinentes. Cela permet d'analyser et de résoudre plus efficacement les problèmes ou de mieux comprendre les événements.

Le tableau suivant montre (V.4) la méthode QQQQCP :

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

Tableau V.4 : QQQQCP.

N°	Quoi?	Qui?	Où?	Quand?	Comment?	Pourquoi?
01	3 <sup>ème</sup> degrés, 44,5°C	Equipe de thermovision	Plage du circuit bouchon coté haut phase 4 de la travée 220kV Hassi Rmel	09/03/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Perte de l'alimentation électrique HTB et du système téléconduite</li> <li>✓ Fusion Plage de fixation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Usure</li> </ul>
02	3 <sup>ème</sup> degrés, 40,5°C	Equipe de thermovision	Plage du circuit bouchon coté haut phase 8 de la travée 220kV Hassi Rmel	22/04/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Perte de l'alimentation électrique HTB et du système téléconduite</li> <li>✓ Fusion Plage de fixation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Usure</li> </ul>
03	2 <sup>ème</sup> degrés, 20,6°C	Equipe de thermovision	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaîne d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 4 de la travée 60kV Guerara II	11/05/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Surintensité</li> <li>✓ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Mauvais sertissage</li> <li>▪ Vent violent</li> </ul>
04	2 <sup>ème</sup> degrés, 6,8°C	Equipe de thermovision	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté chaîne d'isolateurs coté sectionneur de ligne Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	09/06/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Surintensité</li> <li>✓ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Mauvais sertissage</li> <li>▪ Vent violent</li> </ul>
05	2 <sup>ème</sup> degrés, 8,8°C	Equipe de thermovision	Manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre 1 Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	22/07/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Surintensité</li> <li>✓ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Mauvais sertissage</li> <li>▪ Vent violent</li> </ul>
06	2 <sup>ème</sup> degrés, 8,8°C	Equipe de	Manchon d'encrage de la descente		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Surintensité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> </ul>

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

		<b>thermovision</b>	bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre 1 Phase 8 de la travée 60kV Guerara II	22/07/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mauvais sertissage</li> <li>▪ Vent violent</li> </ul>
07	2 <sup>ème</sup> degrés, 16,7°C	<b>Equipe de thermovision</b>	Mâchoire du sectionneur barre 2 phase 4 de la travée 60kV Arrivée TR 2	17/08/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Manque de l'alimentation électrique</li> <li>✓ Echauffement TR 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Vibration</li> <li>▪ Mauvais serrage</li> </ul>
08	2 <sup>ème</sup> degrés, 16,3°C	<b>Equipe de thermovision</b>	Mâchoire du sectionneur barre 2 phase 0 de la travée 60kV Arrivée TR 2	11/09/2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Manque de l'alimentation électrique</li> <li>✓ Echauffement TR 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Vibration</li> <li>▪ Mauvais serrage</li> </ul>
09	2 <sup>ème</sup> degrés, 33°C	<b>Equipe de thermovision</b>	Plage du manchon d'encrage de la descente bretelle vers disjoncteur coté sectionneur de barre coté haut Phase 4 de la travée 60kV Arrivée Centrale 1	20/06/2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fusion du manchon d'encrage de la descente</li> <li>✓ Manque de tension</li> <li>✓ Destruction du disjoncteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Mauvais serrage</li> </ul>
10	2 <sup>ème</sup> degrés, 18°C	<b>Equipe de thermovision</b>	Raccord de la borne 30kV TR 3 phase 8	02/08/2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fusion Raccord</li> <li>✓ Echauffement TR 3</li> <li>✓ Déclenchement et risque Explosion TR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vibration</li> <li>▪ Mauvais serrage</li> </ul>
11	3 <sup>ème</sup> degrés, 41,4°C	<b>Equipe de thermovision</b>	Raccord de la borne 30kV TR 3 phase 0	25/08/2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fusion Raccord</li> <li>✓ Echauffement TR 3</li> <li>✓ Déclenchement et risque Explosion TR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vibration</li> <li>▪ Mauvais serrage</li> <li>▪ Surintensité</li> </ul>
12	2 <sup>ème</sup> degrés, 29,4°C	<b>Equipe de thermovision</b>	Raccord de la borne 30kV TR 3 phase 4	11/10/2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fusion Raccord</li> <li>✓ Echauffement TR 3</li> <li>✓ Déclenchement et risque Explosion TR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vibration</li> <li>▪ Mauvais serrage</li> </ul>

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

13	2 <sup>ième</sup> degrés, 24°c	Equipe de thermovision	Plage bifilaire de la borne 30kV phase 4 de la Cabine mobile	20/10/2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Séparation CM</li> <li>✓ Déclenchement départ client MT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vibration</li> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Pollution</li> </ul>
14	2 <sup>ième</sup> degrés, 29°c	Equipe de thermovision	Plage du sectionneur d'isolement coté TC phase 8 de l'arrivée TR 2	02/07/2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Insuffisance de la Puissance électrique</li> <li>✓ Perte Alimentation Etage 60 kV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pollution</li> <li>▪ Corrosion</li> </ul>
15	2 <sup>ième</sup> degrés, 30°c	Equipe de thermovision	Fixation de la boîte d'extrémité du câble centrale phase 4 du TR 1	27/08/2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fusion de câble central</li> <li>✓ Manque de tension phase</li> <li>✓ Déséquilibre réseau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mauvais sertissage</li> <li>▪ Corrosion</li> <li>▪ Surintensité</li> </ul>

### ❖ Comparaison entre les résultats des deux méthodes ABC et AMDEC

En comparant les résultats de ces méthodes, nous pouvons noter que la méthode ABC nous a fourni une évaluation quantitative des points chauds, dont nous avons les classés selon leur niveau de criticité. Cela nous a aidés à établir une hiérarchie claire pour nos actions de maintenance et de réparation. Par contre la méthode AMDEC, elle nous a permis d'analyser en détail les défaillances potentielles, en évaluant leurs effets et leur criticité. Cela nous aide à guider d'élaborer une meilleure planification d'entretien conditionnel et nous aide à prendre des décisions éclairées sur les actions à entreprendre.

### **V.4 Conclusion :**

Après avoir analysé les points chauds et les déformations dans le réseau électrique haute tension En conclusion, grâce à l'analyse approfondie effectuée à l'aide des méthodes ABC, AMDEC et QQQQCP, nous avons pu obtenir une vision claire des points chauds dans le réseau électrique haute tension du centre de conversion de tension STE Ghardaïa. Ces méthodes nous ont permis de prioriser les interventions, de quantifier les risques et de mettre en place des mesures d'entretien appropriées pour assurer la fiabilité et la performance du réseau. Cette approche scientifique fournit une base solide pour prendre des décisions éclairées en matière de maintenance et d'optimisation du réseau électrique. au centre de conversion de tension STE Ghardaïa, nous avons utilisé des méthodes analytiques fiables telles que ABC, AMDEC et QQQQCP pour évaluer la situation.

Grâce à la méthode ABC, en utilisant la courbe de Barreto, nous avons pu identifier les points les plus chauds dans la catégorie A. Cela nous a permis de prioriser ces points dans notre stratégie métier, en allouant des ressources plus importantes pour les traiter. Cette analyse basée sur la méthode ABC était quantitative, ce qui nous a permis d'obtenir des informations précises sur les zones critiques du réseau électrique.

En appliquant la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), ainsi que la méthode QQQQCP (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi), nous avons pu déterminer l'importance vitale de chaque point chaud et l'entretien approprié nécessaire. Cette approche nous a permis d'identifier les actions d'entretien conditionnel qui devraient être entreprises pour prévenir les défaillances potentielles et assurer le bon fonctionnement du réseau électrique.

### Conclusion générale :

L'analyse et la contribution à l'amélioration de la maintenance conditionnelle par thermovision d'un réseau électrique HTB ont montré des résultats prometteurs et une grande valeur potentielle pour l'industrie de l'énergie. La thermovision, en tant que méthode de surveillance non destructive, permet de détecter les anomalies thermiques dans les composants du réseau électrique HTB, ce qui peut aider à identifier les problèmes potentiels avant qu'ils ne se transforment en pannes coûteuses.

L'utilisation de la thermovision pour la maintenance conditionnelle présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle permet une surveillance continue et en temps réel des équipements électriques, ce qui permet de détecter rapidement les variations de température anormales. En identifiant les zones chaudes ou les points de surchauffe, les opérateurs peuvent prendre des mesures préventives pour éviter les défaillances potentielles et les pannes du réseau.

De plus, la thermovision offre une approche non intrusive de la surveillance, ce qui signifie qu'elle n'interrompt pas le fonctionnement normal du réseau électrique. Cela permet d'éviter les temps d'arrêt inutiles et les coûts associés. De plus, la thermovision peut être utilisée pour surveiller à distance les équipements difficiles d'accès, ce qui facilite la détection précoce des problèmes sans nécessiter d'intervention physique.

En analysant les données thermiques recueillies, il est possible de mettre en place des modèles de prédiction pour évaluer la durée de vie résiduelle des composants, prévoir les défaillances potentielles et planifier la maintenance de manière proactive. Cela permet d'optimiser l'utilisation des ressources et de réduire les coûts de maintenance globaux, **Certaines mesures peuvent être prises :**

- **Réparation ou remplacement des composants défectueux :** Identifiez les composants défectueux ou présentant des dysfonctionnements grâce à l'analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et procédez à leur réparation ou remplacement.
- **Surveillance continue :** Utilisez la technologie d'imagerie thermique pour surveiller en continu les équipements à haute tension. Cela permettra de détecter rapidement les points chauds et les déformations anormales, afin de prendre des mesures préventives avant que des pannes ne se produisent.
- **Formation du personnel :** Assurez-vous que le personnel responsable de l'entretien et de la gestion des équipements à haute tension dispose des compétences et des connaissances nécessaires pour détecter les problèmes et prendre des mesures appropriées. Organisez des formations régulières pour les maintenir à jour sur les meilleures pratiques en matière de maintenance.
- **Surveillance à distance :** Explorez la possibilité de mettre en place des systèmes de surveillance à distance, permettant de surveiller les équipements à haute tension à partir d'un centre de contrôle. Cela facilitera la détection précoce des problèmes et permettra une intervention rapide.



## Conclusion générale

---

- **Amélioration de la conception des équipements** : Collaborez avec les fabricants d'équipements à haute tension pour améliorer la conception des composants et des systèmes, en prenant en compte les problèmes identifiés. Cela peut inclure des améliorations de la résistance à la chaleur, de la durabilité et de la fiabilité des équipements.
- **Utilisation de systèmes de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO)** : Les GMAO sont des logiciels qui aident à planifier, organiser et suivre les activités de maintenance. En utilisant un système de GMAO, vous pouvez gérer efficacement les informations relatives aux inspections, aux réparations et aux remplacements, ainsi que suivre l'historique des interventions et des performances des équipements.
- **Surveillance à distance** : Explorez la possibilité de mettre en place des systèmes de surveillance à distance, permettant de surveiller les équipements à haute tension à partir d'un centre de contrôle. Cela facilitera la détection précoce des problèmes et permettra une intervention rapide.
- **Analyse des données et apprentissage automatique** : Utilisez les données collectées à partir de l'imagerie thermique et de l'analyse AMDEC pour effectuer une analyse plus approfondie des tendances et des schémas de défaillance. En utilisant des techniques d'apprentissage automatique, il est possible d'identifier des modèles prédictifs et de mettre en place des actions correctives proactives.

Il est essentiel de noter que les solutions appropriées dépendent de la nature spécifique des équipements à haute tension et des pannes/débits identifiés. Il est recommandé de consulter des experts en ingénierie électrique pour évaluer la situation et recommander des mesures spécifiques adaptées à votre contexte.

Cependant, il convient de noter que l'analyse par thermovision seule ne peut pas fournir toutes les informations nécessaires pour une maintenance conditionnelle complète. Il est important de combiner cette méthode avec d'autres techniques de surveillance et de diagnostic, telles que l'analyse vibratoire, l'analyse des gaz dissous dans l'huile des transformateurs, etc. Cette approche multi-technique permet d'obtenir une vision plus complète de l'état du réseau électrique HTB et d'améliorer la précision des prédictions de défaillance.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

---

### Bibliographie :

- [1] Sonelgaz. (n.d.). [Website]. Available at: [www.sonelgaz.dz/](http://www.sonelgaz.dz/)
- [2] SONELGAZ. (n.d.). Présentation SONELGAZ et Règlementation [Internal document].
- [3] STE. (n.d.). [Website]. Available at [www.ste.dz](http://www.ste.dz)
- [4] Bellaouar, M. S. E., & Bouras, H. M. (2021). Optimisation de la Maintenance préventive d'une travée ligne HT (au sein du poste de transformation de STE Ghardaïa) [Master's thesis, Université De Ghardaïa].
- [5] Berseneff, B. (2010). Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur. [Doctoral dissertation, Université de Grenoble].
- [7] CEA. (2013). Mémento sur l'énergie 2013 [Technical Report]. Commissariat à l'Énergie Atomique. Retrieved from [http://www.cea.fr/content/download/23534/379632/le/cea\\_memento\\_sur\\_l%E2%80%99energie\\_209](http://www.cea.fr/content/download/23534/379632/le/cea_memento_sur_l%E2%80%99energie_209)
- [8] Sivanagaraju, S., Sankar, V. (2014). Electric Power Distribution and Automation. Dhanpat Rai & Co.
- [9] Aouzellag Lahaçani, N. (n.d.). Polycopié de cours UEF 3111 3ème Année Licence ELT Université A. MIRA-BEJAIA.
- [10] Hammoud, A. (2010). Etude des convertisseurs haute tension pour la protection et la coordination de réseau de distribution [Doctoral dissertation, INSA de Lyon].
- [11] Sonelgaz Prévention et Sécurité. (2001). Prévention du Risque Electrique: Carnet de Prescriptions au Personnel du Groupe SONELGAZ. Edition 2001.
- [12] Ricci Manel, D. (n.d.). Amélioration du plan de tension de réseau 220 kV par dispositif [Master's thesis, Université Badji Mokhtar Annaba].
- [13] Richardot, O. (2000). Réglage Coordonné de Tension dans les Réseaux de Distribution à l'aide de la Production Décentralisée [Doctoral dissertation, INPG].
- [14] Schneider Electric. (2007). Architecteur de Réseau d'électrique.
- [15] Bhadeshia, H. K. D. H. (2016). The Importance of Materials Science. In Materials Science and Structural Engineering (pp. 1-9). Springer.
- [16] Lenczner, M., et al. (2016). Contrôles non destructifs: Fondements, méthodes et applications. Éditions Techniques de l'Ingénieur.
- [17] Forbes France. (2019, April 16). Le contrôle non destructif: un atout pour la qualité industrielle.
- [18] Sans, J. L. (2007). Introduction aux méthodes de contrôle non destructif. Techniques de l'Ingénieur.
- [19] American Society for Nondestructive Testing (ASNT). (2016). Nondestructive Testing Handbook: Volume 7, Ultrasonic Testing.

## Bibliographie

---

- [20] Le Bihan, Y., Legrand, C., Le Hégarat, J.-C., Thomas, A., & Calmon, P. (2006). Approche probabiliste de la caractérisation non destructive des matériaux: application à la détection de défauts par thermographie active infrarouge. *Revue Générale de Thermique*, 45(522), 913-919.
- [21] Lupinski, D. C., & Groult, H. (2018). *Introduction aux mesures en physique et en génie des matériaux*. Springer.
- [22] Bouchard, E. (2004). *Guide de la magnétoscopie et du contrôle visuel*. Éditions Multimondes.
- [23] Norme NF EN ISO 3452-1:2013. *Essais non destructifs - Ressuage - Partie 1: Généralités, principes et choix des produits*. AFNOR.
- [24] Abuaf, N., Hoummady, M., & Merzoud, M. (2006). ANHM06: Non-destructive testing and evaluation of metals for hydrogen embrittlement susceptibility.
- [25] Ivy, G. O. (2006). *Handbook of Advanced Magnetic Materials: Vol 1. Nanostructural Effects*. Springer Science & Business Media.
- [26] Crane, R. L., & Rubenstein, M. O. (2007). *Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 7, Ultrasonic Testing*. ASNT.
- [27] Lévesque, P. (2007). *Introduction aux méthodes d'essais non destructifs par ultrasons*.
- [28] Cawley, P., & Long, A. (1999). The use of ultrasonic arrays for inspection. *Proceedings of the IEEE*, 87(9), 1604-1632.
- [29] Benaoumeur, M. (2016). Contribution à l'optimisation du contrôle par courants de Foucault des tubes en cuivre et alliages de cuivre. *Mémoires algériens*.
- [30] Rabhi, M. (2016/2017). *CND. Institut Supérieur des Etudes Technologiques de GAFSA*.
- [31] Khezzar, A., Bouziane, M., & Tabet, T. (2016). Contribution à l'étude de la radiographie industrielle par sources de rayonnements gamma et X. *Mémoires Algériens*, 1(1), 11-22.
- [32] Boucherma, D., Bouziane, K., Chelaghma, A., & Imine, A. (2016). An Overview of Infrared Thermography Technique. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 4(3), 92-96.
- [33] Haddadi, M., Bouzitouna, M., & Draoui, B. (2017). Thermographie infrarouge appliquée aux Matériaux. *Mémoires Algériens*, 2(1), 9-16.
- [34] Jafari, M., Nouri, H., & Nejat, P. (2018). An overview on the applications of thermography in building diagnostics. *Energy and Buildings*, 170, 49-64.
- [35] Jalalvand, A., & Zhang, Y. (2018). Thermographic non-destructive testing and evaluation of composite materials: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 152, 31-48.
- [36] Yan, Y., & Li, H. (2018). Non-destructive detection of building insulation defects using infrared thermal imaging technology. *International Journal of Heat and Technology*, 36(2), 503-511.

## Bibliographie

---

- [37] Bucher, C. A. (2017). La thermographie infrarouge: principes et applications en maintenance prédictive. *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 27(1), 23-29.
- [38] Tachon, G. (2017). Thermographie infrarouge: principes, domaines d'application et mise en œuvre. *Les cahiers de l'énergie*, (81), 25-29.
- [39] Ouellet, M. (2013). Utilisation de la thermographie infrarouge en industrie. *Le Journal de l'énergie*, (18), 11-13.
- [41] Norme NF EN 13306: Maintenance - Terminology.
- [42] Bernard Machine: Maintenance, concepts et définitions. Centre français d'exploitation.
- [43] Monchy, F. (2002). *Maintenance: Méthodes et organisations* (2nd ed.). Dunod.
- [44] Merzoug, M. (2016). Support du cours: techniques de détection des défaillances.
- [45] Ghosh, D., & Roy, S. (2009). Probabilistic cost-benefit analysis for maintenance optimization. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(4), 403-407.
- [46] Norme AFNOR NF EN 13306: Terminologie de la maintenance.
- [47] Bernard Machine: Maintenance, concepts et définitions. Centre français d'exploitation.
- [48] Boumeddane, A. (2011-2012). Impact de la fiabilité sur les équipements industriels. Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.
- [49] Merzoug, M. (n.d.). Support du cours: techniques de détection des défaillances.
- [50] Guillerm, R. (2011). Intégration de la sûreté de fonctionnement dans les processus d'ingénierie système. Université Paul Sabatier Toulouse III.
- [51] Mehimdat, M. S., & Touati, S. (2018-2019). Analyse qualitative et quantitative des risques de défaillances d'un système de compresseur de gaz à l'entreprise SONATRACH-DP-TFT. Mémoire de fin d'étude Master, Université Guelma.
- [52] Guillerm, R. (2011). Intégration de la sûreté de fonctionnement dans les processus d'ingénierie système. Université Paul Sabatier Toulouse III.
- [53] Ishikawa Fishbone Diagram Examples. Retrieved from <https://www.edrawsoft.com/fr/ishikawaexamples.html?gclid=CjwKCAjwx46TBhBhEiw>