الجمهـــوريـــــة الجزائـــريـــــة الديمقـــراطيـــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعـطـــيـــــم العـــــالـــــي والبـــحـــــث العـلمـــــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de sécurité industrielle et environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Prévention et Intervention

Thème

L'analyse de risque d'un système électrique industriel

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom	Prénom
Belhadj	Adel Nazih
Bourouba	Farouk

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mme Beloufa Khadidja	MAA	Université d'Oran2	**Présidente**
Mme Benomar Fatima	MAA	Université d'Oran2	**Directrice du mémoire**
Mme Talbi Zahéra	MCB	Université d'Oran2	**Examinatrice**

Année 2023/2024

Remerciements

Nous remercions tout d'abord "Allah" pour nous avoir accordé la force et la détermination nécessaires à l'élaboration de ce travail. Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur soutien indéfectible, leur encouragement constant et les moyens qu'ils nous ont fournis tout au long de nos études. Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à notre encadrante, Mme BENOMAR F, pour son encadrement précieux, ses conseils judicieux et ses remarques pertinentes, qui ont grandement contribué à la réalisation et à la finalisation de ce projet de fin d'études. Nous remercions également toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'achèvement de ce projet. Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à l'ensemble des enseignants du département d'Hygiène et Sécurité Industrielle pour l'enseignement de qualité qu'ils nous ont dispensé tout au long de notre cursus universitaire

Dédicace

Je remercie "Allah" pour m'avoir donné la capacité d'écrire, de réfléchir, la force de croire en ce projet, et la patience d'aller jusqu'au bout. Je dédie ce modeste mémoire à ma chère mère, mon père, mes sœurs, mes tantes, mes neveux, mes petits cousins et toute ma famille maternelle. Je tiens également à exprimer ma gratitude à mon collègue et binôme, FAROUK , ainsi qu'à ZOHIR, ingénieur HSE chez SKT, dont l'aide précieuse a été déterminante. Enfin, je rends hommage à mes amis pour leur soutien et leurs encouragements durant cette année difficile.

ADEL NAZIH

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères à mon cœur. À mes parents bien-aimés, à mes frères, à ma cousine, ainsi qu'à toute ma grande famille et à mes précieux amis. Une mention spéciale à mon binôme, NASRALLAH, et à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réalisation de ce projet.

FAROUK

Sommaire

Contenu

Acronymes et abréviation.....13

Chapitre I : présentation générale de la centrale électrique SKT. 18

Introduction 18

1 Présentation de la centrale électrique.....18

2 Objectif de la centrale : 19

3 Alimentation de la centrale.....21

3.1 En gaz :.....21

3.2 En électricité : 21

3.3 Alimentation en eau de mer :.....21

4 Principe de fonctionnement de la centrale 21

4.1 La production d'énergie électrique 21

4.2 Turbine à gaz 22

4.3 Alternateur 24

4.4 Embrayage auto-commutable synchrone entre la TV et l'Alternateur 24

4.5 Turbine à Vapeur 25

4.6 Chaudière de récupération.....25

4.7 La partie de distribution d'électricité 27

Conclusion.....28

Chapitre II : Généralités sur les transformateurs industriels.....30

1 Historique 30

2 Description d'un transformateur :.....30

3 Normes et décrets :.....31

3.1 Normes :.....31

3.2 Décrets :.....32

4 Principe de fonctionnement :.....33

5 Les types des transformateurs industriels :.....34
5.1 Transformateur de distribution et de puissance :.....34
5.2 Autotransformateur :.....34
5.3 Transformateur triphasé :.....35
6 Généralités sur les transformateurs de puissance.....35
6.1 Types de transformateurs de puissance :.....36
7 Principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance :.....38
8 Utilisations des transformateurs de puissance.....38
9 Les principaux organes du transformateur (la constitution de ce système) :.....39
10 Les défauts du transformateur de puissance.....41
10.1 Les défauts internes.....41
10.2 Défaut entre phases.....41
10.3 Défaut entre spires.....41
10.4 Défaut à la terre :.....41
10.5 Défaut entre enroulement et la cuve :.....41
10.6 Les défauts externes :.....41
10.6.1 Les court-circuit.....41
10.6.2 Les surtensions.....42
10.6.3 Les surcharges :.....44
11 L'influence de l'environnement sur les transformateurs :.....45
12 Les risques liés aux transformateurs de puissance :.....47
13 Les effets des transformateurs de puissance :.....47
13.1 Effets sur l'humain :.....47
13.2 Effets sur l'environnement :.....48
14 Les accidents des transformateurs de puissance.....48
Conclusion :.....49

Chapitre III : Les méthodes appliquées pour l'évaluation des risques et les actions de maintenance 52

introduction.....52

1 Comment on peut définir un risque ?.....52

2 Qu'est-ce qu'une évaluation des risques ? 53

3 Méthodologie de l'analyse des risques 54

4 L'analyse des risques : 54

5 Méthodologie de l'analyse des risques : 55

6 Classification des méthodes d'analyse des risques.....56

6.1 Méthodes quantitatives.....56

6.2 Méthodes qualitatives : 57

7 La méthode AMDEC : 57

7.1 Objectifs de l'AMDEC :.....58

7.2 Les types d'AMDEC :.....58

7.3 Intérêts :.....58

7.4 Limites :.....59

7.5 L'analyse AMDEC : 59

7.6 Indice de Gravité :.....59

7.7 Indice de Fréquence : 60

7.8 Indice de Détection 61

7.9 Indice de Criticité.....62

8 L'arbre de défaillance 63

8.1 Définition.....63

8.2 Objectifs 63

8.3 Mise en œuvre de la méthode : 63

8.4 Elaboration de l'arbre :.....63

8.5 Intérêts :.....64

8.6 Limite : 64
9 Les actions de maintenance 64
Introduction : 64
9.1 Définition de la maintenance 65
9.2 Les objectifs de la maintenance : 65
9.3 Les types de maintenance : 65
9.4 Les opérations de maintenance : 66
9.5 Politiques de maintenance : 67
10 Les actions de maintenance pour le bon fonctionnement : 68
10.1 Les visites d'inspections : 68
11 La maintenance du transformateur de puissance 20/400KV 69
11.1 Entretien Des Radiateurs : 69
11.2 Traversées Ht – Mt – Bt Ou Boite A Câbles : 69
11.3 Parafoudre 69
11.4 Assécheur d'air : 70
11.5 Commutateur hors tension : 70
11.6 Changeur de prise en charge : 70
11.7 Connexions de puissance : 70
11.8 Appareillage de surveillance et de protection : 71
11.9 Armoires auxiliaires : 71
11.10 Pièces de rechange : 71
11.11 Analyse d'huile : 71
11.12 Analyse des composés furaniques : 72
Conclusion 73
Chapitre IV : L'application des méthodes d'analyse sur le système (Partie pratique) 75
Introduction 75
1 Feuille d'analyse AMDEC : 76

2 Classification des éléments par leur criticité : 78
3 Les actions de prévention : 78
4 Application de la méthode ADD sur le système (transformateur de puissance) : 79
5 Reconnaissance des causes (évènements) probables possible : 82
6 Construction de l'arbre de défaillance du système : 83
7 Elaboration de l'arbre de défaillance : 84
8 Les coupes minimales : 84
9 Résulta 86
Les facteurs d'importance : 87
les composants critiques : 87
Conclusion : 88
Conclusion générale 90
Références bibliographiques 91

Liste des figures

FIGURE 1: VUE EN 3D DE LA CENTRALE ELECTRIQUE DE TERGA.....19
FIGURE 2: LA GEOGRAPHIQUE DE CENTRALE TERGA.....19
FIGURE 3: : LES UNITES DE LA CENTRALE ELECTRIQUE.....20
FIGURE 4: : PRESENTATION DU CYCLE COMBINEE 21
FIGURE 5: SCHEMA DE LA LIGNE D'ARBRE.....22
FIGURE 6 : TURBINE A GAZ.....23
FIGURE 7 : LES COMPOSANTS DE LA TURBINE A GAZ 23
FIGURE 8:ALTERNATEUR.....24
FIGURE 9: LES COMPOSANTS DE LA TURBINE A VAPEUR 25
FIGURE 10: CHAUDIERE DE RECUPERATION 27
FIGURE 11: TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE DE LA SKT 27
FIGURE 12:TRANSFORMATEUR.....30
FIGURE 13: SYMBOLE DE TRANSFORMAT.....32
FIGURE 14: SCHEMA D'UN TRANSFORMATEUR.....33
FIGURE 15: SCHEMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN TRANSFORMATEUR. 33
FIGURE 16: TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE.....34
FIGURE 17: TRANSFORMATEUR TRIPHASE. 35
FIGURE 18: TRANSFORMATEUR IMMERGE DANS L'HUILE.....36
FIGURE 19: TRANSFORMATEUR SEC. 37
FIGURE 20: AUTOTRANSFORMATEUR TRIPHASE. 38
FIGURE 21: PRINCIPAUX ORGANES D'UN TRANSFORMATEUR. 40
FIGURE 22: : AMORÇAGE ENTRE SPIRES, SANS COURT-CIRCUIT ENTRENT-ELLES.....45
FIGURE 23: AMORÇAGE ENTRE ENROULEMENTS 45
FIGURE 25: POINT CHAUD SUR LE SELECTEUR D'UN REGLEUR EN CHARGE 45
FIGURE 24: DECHARGES PARTIELLES SUR DES CALES.....45
FIGURE 26: : AMORÇAGE DU CORPS INSERABLE D'UN REGLEUR EN CHARGE.....46
FIGURE 27: : COUPURE SUITE A LA FUSION D'UN CONDUCTEUR 46
FIGURE 28: : DEFORMATION MECANIQUE D'UN ENROULEMENT. 46
FIGURE 29: EXPLOSION D'UN TRANSFORMATEUR. 49
FIGURE 30:L'APPRECIATION DES RISQUES DANS LE PROCESSUS GLOBAL DE GESTION DES RISQUES (ADAPTE DE LA NORME ISO 31000) 54
FIGURE 31: PROCESSUS D'ANALYSE DES RISQUES 55

FIGURE 32:TYPOLOGIE DES METHODES D'ANALYSE DE RISQUE 56
FIGURE 33: SCHEMA DE PRINCIPE DE L'AMDEC. 58
FIGURE 34: DEMARCHE POUR L'ELABORATION D'UN ARBRE DES DEFAILLANCES. 64
FIGURE 35: LES TYPES DE MAINTENANCE. 66
FIGURE 36: POLITIQUES DE MAINTENANCE 67
FIGURE 37: NOYAU MAGNETIQUE 75
FIGURE 38: ENROULEMENT DE TRANSFORMATEUR 75
FIGURE 39: ISOLATION 76
FIGURE 40:CHANGEUR DE PRISE 76
FIGURE 41: SYSTEME DE REFROIDISSEMENT 76
FIGURE 42: L'ANALYSE STRUCTURELLE DU SYSTEME. 79
FIGURE 43:L'ARBRE DE DEFAILLANCE DE SYSTEME 81
FIGURE 44:L'ARBRE DE DEFAILLANCE DE SYSTEME 81
FIGURE 45:L'ARBRE DE DEFAILLANCE DE SYSTEME 81
FIGURE 46:L'ARBRE DE DEFAILLANCE DE SYSTEME 82
FIGURE 47:L'ARBRE DE DEFAILLANCE DE SYSTEME 82

Liste des tableaux

TABLEAU 1:PRINCIPE ORGANE D'UN TRANSFORMATEUR.....40
TABLEAU 2: INDICE DE GRAVITE 59
TABLEAU 3:INDICE DE FREQUENCE.....60
TABLEAU 4:INDICE DE DETECTION 61
TABLEAU 5:INDICE DE CRITICITE.....62
TABLEAU 6:TABLEAU DE L'AMDEC.....76
TABLEAU 7:CLASSIFICATION DES ELEMENTS PAR LEUR CRITICITE.....78
TABLEAU 8:LES EVENEMENTS PROBABLES.....82
TABLEAU 9:LES CODES DES EVENEMENT 83
TABLEAU 10:PROBABILITE DES EVENEMENTS DE BASE.....86
TABLEAU 11: LES FACTEURS IMPRTANCE CRITIQUE.....87

.

Acronymes et abréviation

TBT : Très base pression

HP : Haute pression

BP : Base pression

MP : Moyen pression

TV : Turbine à vapeur

TG : Turbine à gaz

SKT : Shariket kahraba terga

ADD : Arbre de défaillance

HAZOP : Hazard and operability study

AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

APR : Analyse préliminaire du risque

OIP : Oil-Impregnated Paper

MVA : Méga Volt-Ampère

EV : EnVironmental Burner

SEV : Sequential Environmental Burner

HSRG : Hassi R'Mel Station de Réception de Gaz

Résumé

L'énergie électrique joue un rôle incontournable dans le fonctionnement de nombreux secteurs industriels, au point où il est difficile d'imaginer notre quotidien sans elle. Le transport et la distribution de cette énergie reposent sur un réseau vaste et complexe, où les transformateurs de puissance occupent une place centrale. Dans cette recherche, nous avons examiné les risques liés aux transformateurs de la centrale de Targap à Ain T'émouchent en utilisant deux méthodes d'analyse des risques. Ces méthodes nous ont permis d'identifier des stratégies pour réduire la probabilité de pannes, accroître la fiabilité du système et améliorer la sécurité.

Abstract

Electrical energy is vital for the operation of various industrial sectors, to the extent that it's hard to imagine daily life without it. The transmission and distribution of this energy depend on a vast and intricate network, with power transformers playing a crucial role. In this study, we analyzed the risks associated with the transformers at the Targa power station in Aïn Témouchent using two risk assessment methods. These methods allowed us to devise strategies to minimize the probability of failures, enhance system reliability, and improve safety.

ملخص

في السياق الصناعي، تُعتبر الطاقة الكهربائية العامل الأساسي الذي يدعم تشغيل العديد من المجالات المختلفة، بحيث لا يمكننا تخيل حياتنا المعاصرة بدونها. يتم نقل وتوزيع الكهرباء عبر شبكة مترابطة ومعقدة تعتمد بشكل كبير على دور محولات الطاقة. في هذا العمل، قمنا بتقييم المخاطر المرتبطة بمحولات الطاقة في محطة توليد الكهرباء في تارقة، الواقعة في عين تموشنت، باستخدام طريقتين متميزتين لتحليل المخاطر. من خلال هذه المنهجيات، تمكنا من تحديد استراتيجيات فعّالة لتقليل احتمالية الأعطال وتحسين موثوقية النظام، مما يعزز من مستويات الأمان,

Introduction générale

Le progrès de l'électrotechnique vers la fin du XIX siècle a fait de l'électricité un outil essentiel de la vie moderne, et participe également à la deuxième révolution industrielle. L'électricité est devenue la forme d'énergie la plus révolutionnaire, alimentant nos appareils électriques, éclairant nos maisons et rendant possibles les médias tels que la télévision, la radio et le cinéma (1)

. Pour produire en grande quantité l'électricité qui arrive chez nous, on utilise aujourd'hui des générateurs puissants situés dans des centrales de production utilisant divers types d'énergie comme le pétrole, le nucléaire, l'énergie solaire, hydraulique ou éolienne. (1)

Contrairement au gaz ou au pétrole, l'électricité ne peut être stockée (exception faite pour de quantités minimes, dans les piles et les batteries). Elle est donc fabriquée « en temps réel » en fonction de la demande, puis démarre son parcours sur des lignes à très haute tension jusqu'à 400 000 volts ! Ces lignes sont pour la plupart aériennes, portées par des pylônes, mais elles peuvent aussi être enfouies ou même sous-marines. (1)

L'électricité subit une série de transformations de tension à travers des transformateurs, puis elle est distribuée via le réseau électrique jusqu'à notre compteur basse tension, où elle atteint une tension de 220 V. Les transformateurs ont permis de transporter et d'acheminer l'énergie électrique partout où le besoin s'en faisait sentir. Seul le transformateur est capable d'assurer cette fonction dans des conditions économiquement acceptables. Le déploiement des transformateurs a eu des conséquences importantes pour l'industrie et pour la qualité de vie des populations. À titre d'exemple les transformateurs ont permis le développement des réseaux à haute tension qui ont été à l'origine de l'électrification rurale.

La défaillance des transformateurs a des impacts économiques très lourdes en conséquence, (techniques, financières, commerciales, environnementales). Les coupures électriques ont le plus souvent des effets directs : perte d'agitation dans les réacteurs, arrêt de compresseur avec envoi des « encours » à la torche, arrêt d'électrofiltre générant des rejets polluants, panne de pompes de relevage provoquant des débordements (1)

Plus sournoisement, les perturbations électriques donnent aussi lieu à des dysfonctionnements imprévus ou différés conduisant à l'accident en l'absence de séquence

appropriée de mise en sécurité automatique ou d'intervention pertinente du personnel. L'arrêt « brutal » des procédés en phase non stabilisée peut placer l'installation dans une configuration dégradée ou inattendue rendant d'autant plus délicates les opérations de «récupération » que la situation n'a pas été anticipée. (1)

L'interruption électrique entraîne également des pertes d'autres « utilités » telle la fourniture de vapeur, d'eau de refroidissement ou d'air comprimé à la suite de l'arrêt de pompes, de compresseurs, d'automatismes… Ces anomalies sont de nature à provoquer emballement de réactions, prise en masse de produits, rejets liquides ou gazeux intempestifs…

Le retour d'expérience donne plusieurs accidents et incidents survenu à la suite d'une coupure d'électricité : intoxication par le chlore 22 octobre 2008 à Martigues. Une coupure de courant d'1 seconde provoque l'arrêt de certaines installations d'une unité de cracking et une fuite se produit dans un atelier. 1 t de chlore est rejetée dans l'atmosphère. Deux ouvriers intoxiqués sont hospitalisés. (1)

En 2008, en Belgique, 70 kg d'hydrogène sulfuré sont rejetés par une raffinerie privée d'alimentation électrique lors de travaux de maintenance : 100 000 personnes situées sur le parcours du nuage en Belgique et aux Pays-Bas sont concernées. Plusieurs centaines sont victimes de nausées et de problèmes respiratoires, une cinquantaine reçoit des soins médicaux. (1)

D'où la nécessité de détecter et d'identifier dès les premiers stades les défauts latents pour une éventuelle action préventive. (1)

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, le premier chapitre présentation générale de la centrale électrique SKT, la deuxième chapitre Généralités sur les transformateurs industriels la troisième chapitre Les méthodes appliquées pour l'évaluation des risques et les actions de maintenance , la quatrième chapitre L'application des méthodes d'analyse sur le système

Chapitre I

Présentation générale de la centrale électrique SKT.

Chapitre I : présentation générale de la centrale électrique SKT.

Introduction

Les centrales électriques jouent un rôle fondamental à l'échelle mondiale en tant que sources principales de production d'énergie, indispensables au développement économique et industriel. Par exemple, les États-Unis et l'Allemagne ont investi massivement dans les centrales à cycle combiné, où l'association de turbines à gaz et à vapeur permet d'atteindre des rendements énergétiques élevés tout en réduisant l'impact environnemental. (2)

L'économie algérienne repose principalement sur l'exploitation des énergies fossiles. Pour produire de l'électricité et assurer le transport et le raffinage des matières premières, on utilise des turbines, notamment des turbines à gaz, qui génèrent des émissions à des températures élevées, atteignant environ 500°C. Bien que ces turbines soient largement utilisées dans les industries des hydrocarbures et de la production d'énergie, leur rendement est sensible aux variations de la température ambiante. Pour améliorer leurs performances, on peut les coupler avec des turbines à vapeur, créant ainsi un cycle combiné qui optimise l'efficacité énergétique. (2)

1 Présentation de la centrale électrique

La centrale électrique en cycle combiné de Terga dans la wilaya d'Aïn Témouchent a été mise en Exploitation en juin 2012. D'une puissance de 1200 mégawatts, la centrale en question était destinée à couvrir une large partie des besoins en matière d'énergie électrique de la région de l'oranie comme elle a joué un rôle important dans le cadre de « l'interconnexion des réseaux nationaux d'électricité » Les actionnaires de cette centrale sont constitués par les groupes nationaux Sonelgaz (51%) et Sonatrach (49 %).

Elle fonctionne au gaz naturel et au gasoil (secours) alors que sa gestion est confiée à la

société par actions (SPA) « Shariket Kahraba Terga » (SKT) (2)



Figure 1: Vue en 3D de la centrale électrique de TERGA



Figure 2: La géographique de centrale TERGA

La centrale électrique en cycle combiné de Terga a été réalisée par le consortium dirigé par Alstom et comprenant la société égyptienne Orascom Construction Industrie pour la partie génie civil et construction (2)

2 Objectif de la centrale :

Le rôle principal de cette centrale est de produire de l'énergie électrique à partir de la combustion du gaz naturel, elle est chargée dans le cadre national alimenté avec d'autres (2)

centrales en parallèles formant un réseau interconnecté qui part de l'est à l'ouest en passant par le centre.

La centrale électrique à cycle combiné « 3 x 400 MW-KA26 » se compose de trois unités mono- arbre à cycle combiné, de type turbine à gaz GT 26 et à vapeur avec récupérateur de chaleur. (2)

- 01 turbine à gaz (TG) industrielle de grande puissance Alstom type 26 équipées d'un système de combustion séquentielle à pré-mélange pauvre et faible émission de NO_x. (x=1 ou 2 ou 3)

- 01 cycle eau/vapeur a triplé pression de réchauffage avec chaudière de récupération HSRG.

- 01 Turbine à vapeur (TV) composée de deux corps à triple pression de réchauffage avec corps double installé sur un plancher.

- 01 Alternateur refroidi à l'hydrogène H_2, commun à la TG et la TV (2)

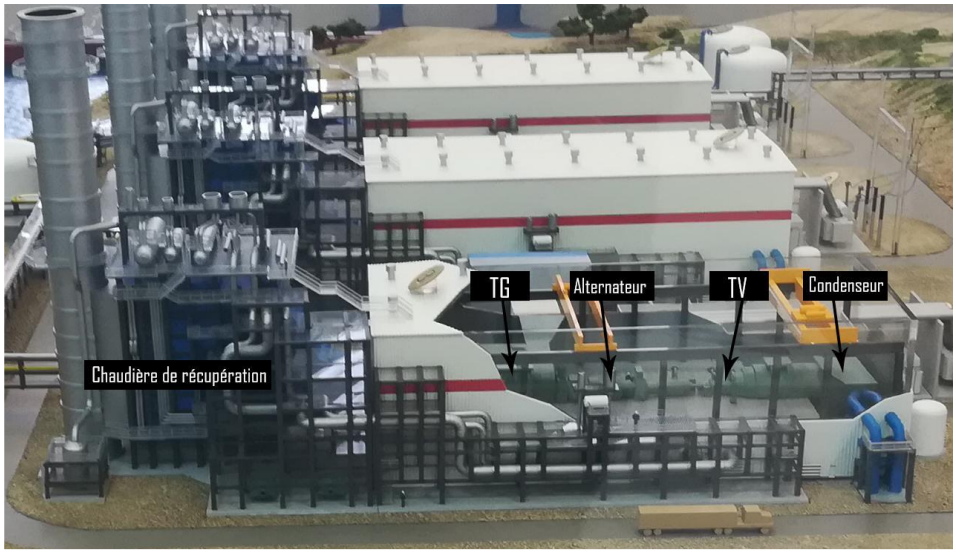


Figure 3: : Les unités de la centrale électrique.

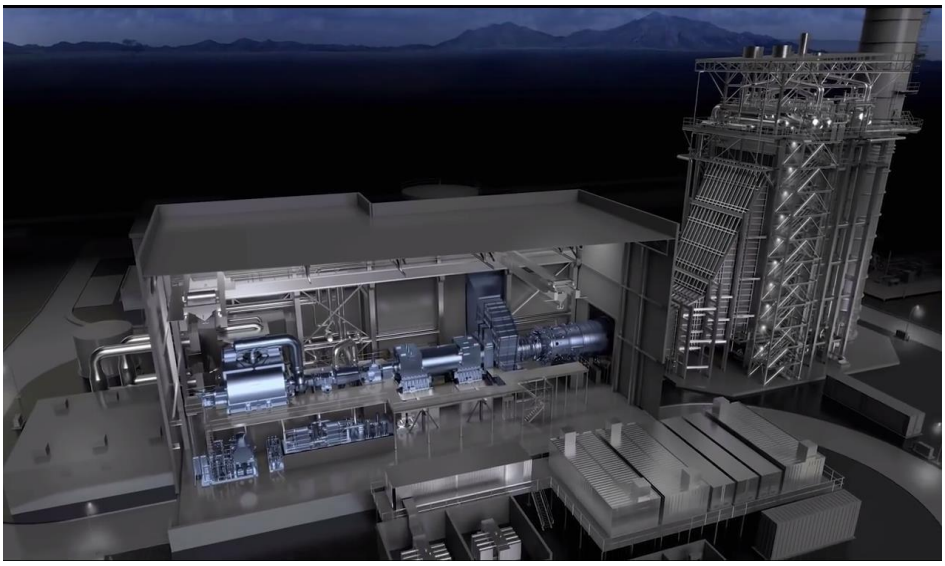


Figure 4: : Présentation du cycle combinée

3 Alimentation de la centrale

L'alimentation de la centrale se fait en trois parties : en gaz, en électricité et en eau de mer.

3.1 En gaz :

Méthane CH4 ramenée de HASSIRMEL transitant par différents stations de compression de pompage jusqu'à Med gaz ensuite va alimenter la centrale. (2)

3.2 En électricité :

Auto alimentée, elle prend son énergie de ces groupes, si ces derniers sont à l'arrêt, la centrale reçoit son besoin d'énergie du réseau par l'intermédiaire de ces transformateurs principaux. (2)

3.3 Alimentation en eau de mer :

Eau de mer par un poste de traitement d'eau produit une eau dessalée, ensuite par un poste de déminéralisation (2)

4 Principe de fonctionnement de la centrale

4.1 La production d'énergie électrique

La puissance nette garantie d'une tranche (NEOG) en cycle combiné, basée sur les conditions nominales de fonctionnement est définie de manière suivante :

- NEOGGN, Tranche = 374 840 kW pour une marche au gaz naturel

- NEOGFO, Tranche = 369 475 kW pour une marche au fioul

La consommation spécifique nette de chaleur garantie (NHRG) d'une tranche en cycle combinées définie de manière suivante :

- NHRGGN, Tranche= 6342 kJ/kWh pour une marche au gaz naturel
- NHOGFO, Tranche = 7156 kJ/kWh pour une marche au fioul (2)

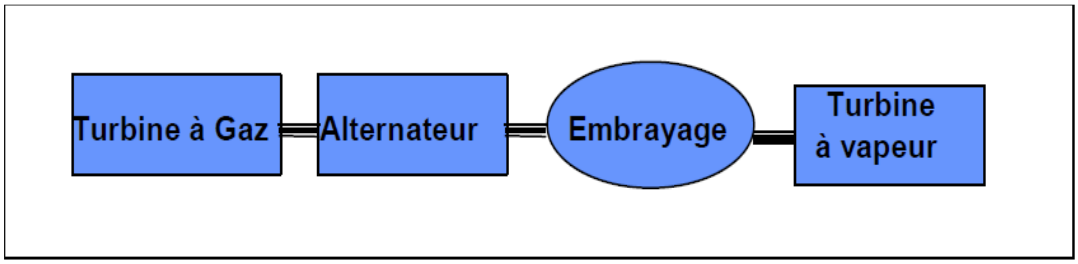


Figure 5: Schéma de la ligne d'arbre

La puissance électrique fournie au réseau par un courant triphasé 50 HZ à et 400 kV de tension nominale côté Haute Tension du transformateur élévateur, à la sous-station de Terga . Le facteur de puissance est choisi par l'opérateur entre 0.80 et 0.91, celui-ci étant mesuré aux bornes de l'alternateur. La production de la centrale est réglée en contrôlant la charge de la turbine à gaz en fonction des exigences de production générale de la centrale (2)

4.2 Turbine à gaz

La turbine à gaz de type GT26 d'Alstom comprend un rotor constitué d'un étage turbine « haute pression », de 4 étages turbine « basse pression », de 22 étages compresseurs, et deux chambres de combustion annulaires (les brûleurs EV et SEV), appliquant le principe de combustion séquentielle. (2)

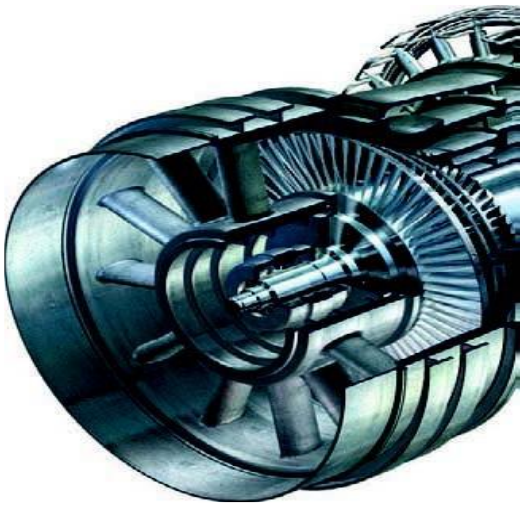


Figure 6 : turbine a gaz

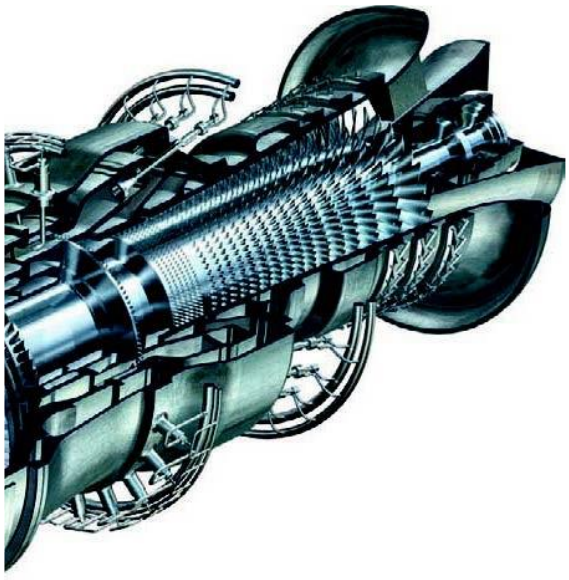


Figure 7 : Les composants de la turbine à gaz

La turbine à gaz comprime l'air ambiant qui s'enflamme en présence de gaz naturel pressurisé. Dès que le mélange combustible/air se consume, les gaz chauds se détendent à travers une turbine, laquelle est reliée à un alternateur pour la production d'électricité. L'échappement de la turbine est relié à la chaudière de récupération HRSG pour la fabrication de vapeur. La vapeur est envoyée à un groupe turboalternateur pour accroître la production d'électricité (2)

4.3 Alternateur

L'alternateur Alstom (type 50WT21H-120) est entraîné à la fois par la turbine à gaz et par la turbine à vapeur. La puissance est produite à une tension de 20kV.

L'alternateur, à trois phases et deux pôles synchrones, est refroidi à l'hydrogène.

L'hydrogène est ensuite refroidi dans des échangeurs à eau se trouvant dans l'enceinte de l'alternateur. (2)

4.4 Embrayage auto-commutable synchrone entre la TV et l'Alternateur

L'embrayage permet de connecter la TV à l'alternateur, alors que celui-ci est déjà entraîné par la

TG :

- L'embrayage s'engage automatiquement aussitôt que le couple de la TV devient positif ;

c'est-à-dire aussitôt que la vitesse de la TV a tendance à dépasser celle de l'alternateur.

- L'embrayage se désengage automatiquement aussitôt que le couple de la TV devient négatif ; c'est-à-dire aussitôt que la vitesse de la TV a tendance à passer en dessous de celle de l'alternateur.

Aucun système de régulation n'est nécessaire pour l'embrayage (2)



Figure 8:alternateur

4.5 Turbine à Vapeur

La Turbine à vapeur, possède deux corps, trois pressions, et une resurchauffe. Le premier corps est l'étage haut pression (HP) et le deuxième corps de la turbine se compose des étages (2)

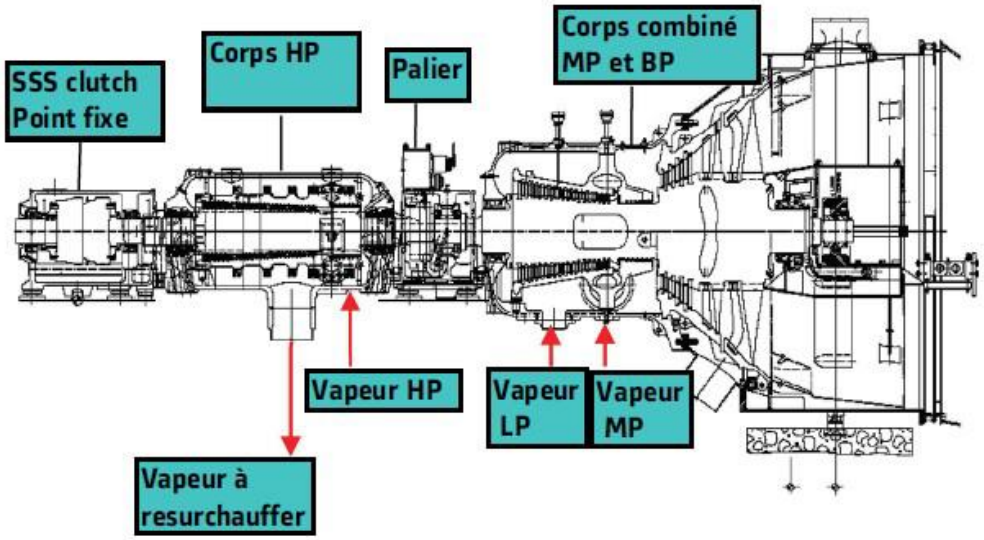


Figure 9: Les composants de la turbine à vapeur

moyens pression (MP) et basse pression (BP). Le corps MP/BP est à double flux. La vapeur vive HP, régulée par une vanne d'arrêt et une vanne de contrôle, entre dans le corps HP et se détend jusqu'à la pression de la vapeur à resurchauffer.

La vapeur à resurchauffer est mélangée avec la vapeur MP produite par la chaudière de récupération avant d'être resurchauffée dans la chaudière de récupération. La vapeur BP entre dans la turbine à travers une vanne d'arrêt et une vanne de contrôle. La vapeur issue du corps échappement BP de la turbine est envoyée au condenseur (2)

4.6 Chaudière de récupération

La chaudière de récupération est de design horizontal. Elle fonctionne en mode de circulation naturelle pour les trois niveaux de pression BP, MP, et HP. La chaleur, contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz, sert de source de chaleur pour produire la vapeur (vapeur réchauffée, vapeur surchauffée HP, MP, et BP) (2)

Les pompes alimentaires HP/MP alimentent la chaudière de récupération. L'eau alimentaire BP est extraite en aval du deuxième rang économiseur MP/BP. L'eau alimentaire HP, MP et

BP est réchauffée dans les économiseurs et stockée dans les ballons respectifs (HP, MP et BP). Chaque niveau de ballon est régulé par une vanne de contrôle.

La vapeur saturée est produite dans les évaporateurs HP, MP, et BP. (2)

La vapeur HP provient de la surchauffeur à plusieurs étages HP, la vapeur MP du resurchauffeur, via la surchauffeur MP, la vapeur BP est également surchauffée. En sortie de la chaudière de récupération, les vapeurs HP et MP sont désurchauffées avec l'eau alimentaire extraite des économiseurs HP et MP respectivement. (2)

De l'eau extraite de l'économiseur HP alimente les réfrigérants d'air TG. Il est possible de réguler la température de l'eau alimentaire en amont des réfrigérants, dans une certaine plage, grâce à une extraction en amont du premier économiseur HP si nécessaire (une vanne manuelle de contrôle ajustée durant la mise en service est prévue à cet effet). (2)

Une extraction en aval de l'économiseur MP alimente en eau un préchauffeur de gaz combustible afin d'augmenter sa température à d'entrée de la TG d'environ 15°C à 150°C, ceci afin d'améliorer le rendement global du cycle combiné. (2)

L'eau sortant du préchauffeur de gaz est renvoyée à la bâche alimentaire.

Le ballon de purges chaudière recueille les purges de la chaudière de récupération et des réfrigérants d'air TG. Le ballon de reprise des purges externes recueille les purges de la vapeur à resurchauffer, la vapeur surchauffée et la vapeur resurchauffée. (2)

Les purges continues des ballons HP, MP et BP sont amené au ballon d'éclatement chaudière. Après séparation, la vapeur va à la bâche alimentaire et les condensats sont envoyés au ballon de purges chaudière. (2)

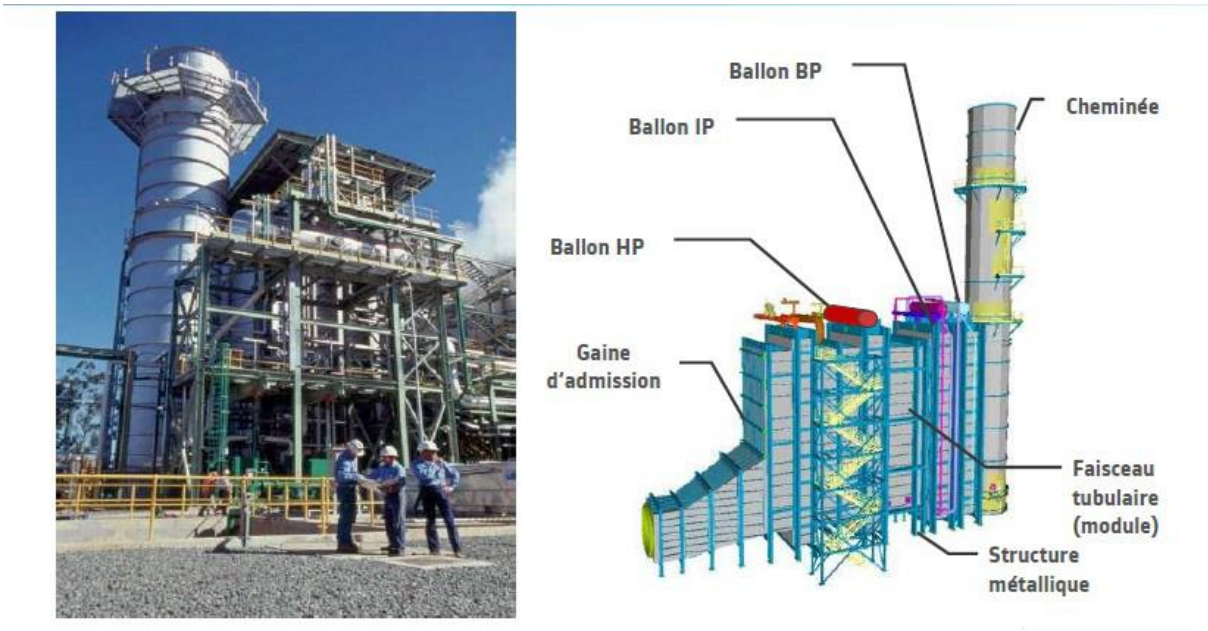


Figure 10: Chaudière de récupération

4.7 **La partie de distribution d'électricité**

Le processus de distribution de l'électricité implique l'utilisation d'un vaste réseau de transport et d'interconnexion, ainsi que d'un réseau de distribution. Au sein de ce réseau, se trouvent des transformateurs qui jouent un rôle crucial. Chaque unité de transformation comprend un transformateur élévateur qui sert à diminuer l'intensité des pertes électriques (appelées pertes Joule) en augmentant la tension pendant la phase de transport d'énergie. Ces transformateurs sont du type immergé dans l'huile, d'une capacité de 20/400KV. Par la suite, l'électricité est dirigée vers une station de transformation appelée « station source ». A cette station, la Très Haute Tension est transformée en Haute Tension, qui mesure typiquement environ 90 000 volts, ainsi qu'en Moyenne Tension, qui est d'environ 20 000 volts (2)



Figure 11: transformateur de puissance de la SKT

Conclusion

En conclusion, la centrale électrique de Terga illustre l'évolution technologique de l'Algérie dans le secteur énergétique. Avec son cycle combiné, elle optimise la production d'électricité tout en améliorant l'efficacité énergétique et en réduisant l'impact environnemental, positionnant ainsi le pays comme un acteur important dans le domaine énergétique (2)

CHAPITRE II

Généralités sur les transformateurs industriels

Chapitre II : Généralités sur les transformateurs industriels

1 Historique

En 1820, Hans Christian Oersted, un physicien danois, fit une découverte révolutionnaire : il démontra qu'un conducteur transportant un courant électrique générait un champ magnétique. Bâtissant sur cette découverte, Josef Henry développa en 1830 les concepts d'induction et d'auto-induction. En 1831, l'Anglais Michael Faraday mena une série d'expériences avec un appareil constitué d'un anneau de fer et d'enroulements de fils de cuivre isolés, approfondissant ainsi notre compréhension de l'induction électromagnétique. Enfin, en 1832, Lucien Gaulard, un jeune électricien et chimiste français, présenta à la Société Française des Électriciens son invention, le "générateur secondaire", qui deviendra plus tard connu sous le nom de transformateur. (3)

2 Description d'un transformateur :

Le transformateur, également connu sous le nom de convertisseur statique à induction, est une machine électrique statique constituée de deux ou plusieurs enroulements fixes. Son rôle principal est de convertir la tension et le courant alternatifs en une tension et un courant alternatifs de même fréquence, mais avec des amplitudes différentes, afin de répondre aux besoins spécifiques d'utilisation (4)



Figure 12:transformateur

3 Normes et décrets :

3.1 Normes :

La norme CEI 60076, élaborée par la Commission Électrotechnique Internationale (CEI), est un ensemble de directives techniques qui définissent les exigences de conception, de fabrication, d'essais et de performance pour les transformateurs électriques (3)

La norme s'applique à une large gamme de transformateurs triphasés et monophasés, y compris les autotransformateurs, utilisés dans divers domaines d'application. Elle ne s'applique toutefois pas à certaines catégories spécifiques de transformateurs, telles que (3)

- **Transformateurs de petite puissance**: Transformateurs monophasés d'une puissance assignée inférieure à 1 kVA et transformateurs triphasés d'une puissance assignée inférieure à 5 kVA.

- **Transformateurs de mesure:** Destinés à la mesure des grandeurs électriques dans les systèmes de puissance.
- **Transformateurs pour convertisseurs statiques**: Utilisés dans les convertisseurs de puissance électroniques.
- **Transformateurs de traction**: Montés sur des locomotives et autres véhicules ferroviaires.
- **Transformateurs de démarrage**: Employés pour fournir un courant de démarrage élevé aux moteurs électriques.
- **Transformateurs d'essais**: Conçus pour des applications de test et de mesure spécifiques.
- **Transformateurs de soudure**: Utilisés dans les équipements de soudage électrique. (3)

- CEI 60076-2 :1993, Transformateurs de puissance – Partie 2 : Echauffement.
- CEI 60076-3 :1980, Transformateurs de puissance – Troisième partie : Niveaux d'isolement et essais diélectriques.
- CEI 60076-3-1 :1987, Transformateurs de puissance – Troisième partie : Niveaux d'isolement et essais diélectriques. Distances d'isolement dans l'air.

- CEI 60076-5 :1976, Transformateurs de puissance – Cinquième partie : Tenue au court-circuit.
- CEI 60354 :1991, Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile.
- CEI 60606 :1978, Guide d'application pour les transformateurs de puissance.
- CEI 60726 :1982, Transformateurs de puissance de type sec.
- ISO 3 :1973, Nombres normaux – Séries de nombres normaux.
- ISO 9001 :1987, Systèmes qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en conception/développement, production, installation et soutien après-vente. (3)

Diverses normes régissent les transformateurs de puissance, notamment les normes britanniques BS, les normes indiennes IS, les normes chinoises GB, et d'autres encore. Il est à noter que les normes françaises NF et les normes européennes EN relatives aux transformateurs de puissance sont largement harmonisées avec les normes de la CEI (Commission électrotechnique internationale). En conséquence, elles sont généralement considérées comme des reproductions fidèles des normes IEC correspondantes. (3)

3.2 Décrets :

Le décret exécutif n° 10-138 du 28 Joumada El Oula 1431 correspondant au 13 mai 2010 énonce les directives techniques régissant la conception, l'exploitation et la maintenance des réseaux de distribution d'électricité et de gaz. Conformément **à la loi n° 02-01** du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002, concernant l'électricité et la distribution du gaz par canalisation, ce décret vise à établir les normes techniques spécifiques à ces réseaux de distribution précités. (5)

- **Symbole de transformateur**

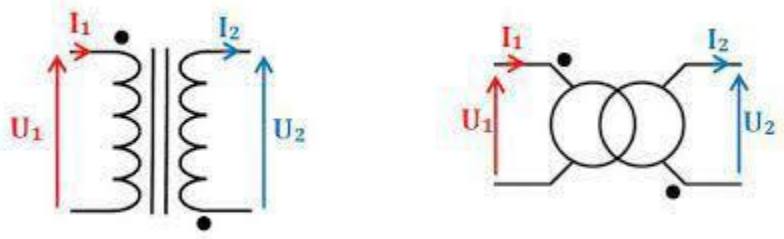


Figure 13: Symbole de transformat

Les deux points représentés dans chaque symbole de transformateur sont utilisés pour indiquer le sens conventionnel de la tension et du courant.

❖ **Schéma**

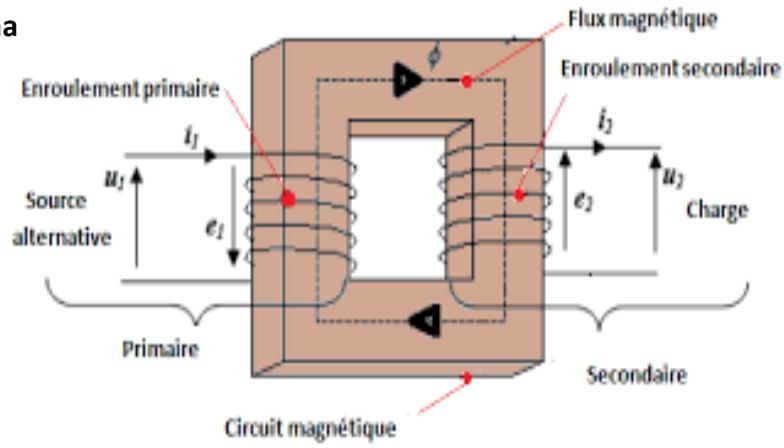


Figure 14: Schéma d'un transformateur

4 Principe de fonctionnement :

Un transformateur est principalement constitué de deux circuits électriques entourant un circuit magnétique. L'un de ces circuits, appelé enroulement primaire, comprend N1 spires et est connecté à une source de tension alternative U1. Le courant I1 traversant cet enroulement génère un flux magnétique φm dans le circuit magnétique. Ce flux magnétique induit une force électromotrice dans le second enroulement, appelé « enroulement secondaire », composé de N2 spires. À travers cet enroulement secondaire, une tension U2 est observée. (4)

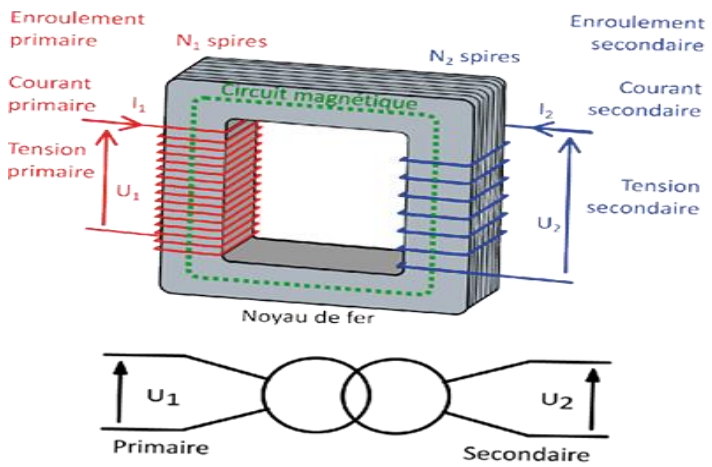


Figure 15: Schéma de principe de fonctionnement d'un transformateur.

5 Les types des transformateurs industriels :

5.1 Transformateur de distribution et de puissance :

Généralement, les transformateurs de distribution sont responsables de la réduction de la tension du réseau, principalement à 20 kV, afin de l'ajuster aux besoins des utilisateurs finaux. Les puissances des transformateurs de distribution se situent généralement dans la gamme de plusieurs kilo voltampères (kVA), atteignant jusqu'à 2500 kVA. (6)

La plupart des autres transformateurs électriques situés sur le réseau haute tension sont des transformateurs de puissance. Leurs puissances et tensions peuvent atteindre plusieurs centaines de méga voltampères (MVA) et plusieurs centaines de kilovolts (kV). (6)



Figure 16: Transformateur de puissance

5.2 Autotransformateur :

Cet équipement présente l'avantage d'un dimensionnement plus compact que celui d'un transformateur, tout en conservant une puissance nominale équivalente. Sa particularité réside dans la présence d'un point commun entre les enroulements primaire et secondaire, ce qui le distingue du transformateur traditionnel. En raison de l'absence d'isolation galvanique entre les enroulements primaire et secondaire, tout défaut sur l'un des réseaux est immédiatement transmis à l'autre. (6)

Les autotransformateurs de puissance sont considérés comme étant similaires aux transformateurs de puissance en termes de construction et de fonctionnement. Leur puissance nominale est généralement limitée à 100 MVA. (6)

5.3 Transformateur triphasé :

Dans les réseaux industriels, l'énergie électrique est principalement acheminée en triphasé, ce qui implique l'utilisation de transformateurs triphasés. Toutefois, dans certaines situations, telles que des contraintes de taille pour le transport ou la nécessité d'unités de secours, il peut être nécessaire de coupler trois transformateurs monophasés distincts en montage triphasé à l'extérieur. (6)



Figure 17: Transformateur triphasé.

6 Généralités sur les transformateurs de puissance

Effectivement, les transformateurs de puissance jouent un rôle essentiel dans les réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique. Leur fonction principale est de réguler la tension et le courant dans un circuit électrique. Ils sont utilisés à différents niveaux, notamment (6) :

- À la sortie des centrales électriques, où ils élèvent la tension pour faciliter le transport sur de longues distances.

- Dans le transport de l'énergie électrique sur les lignes à haute tension, où ils permettent de réduire les pertes en augmentant la tension.
- Dans la distribution d'énergie électrique aux consommateurs finaux, où ils abaissent la tension pour l'adapter aux besoins des utilisateurs.
- Dans diverses applications industrielles, où ils sont utilisés pour alimenter les équipements électriques en fournissant la tension et le courant appropriés.

6.1 Types de transformateurs de puissance :

6.1.1 Transformateurs immergés dans l'huile *:*

Pour prévenir les effets néfastes de l'air sur l'isolation des bobines et améliorer le refroidissement du transformateur, le noyau magnétique est placé avec les enroulements dans une cuve remplie d'huile minérale. Malgré ses propriétés avantageuses, l'huile de transformateur présente deux défauts principaux : elle est inflammable et sa vapeur forme un mélange explosif avec l'air. En plus de servir de réservoir pour le liquide diélectrique, la cuve assure le maintien mécanique du circuit magnétique et des enroulements. La construction de la cuve, généralement de forme ovale, est étroitement liée au calcul thermique du transformateur. Le refroidissement du transformateur devient d'autant plus difficile à mesure que sa puissance augmente. La cuve est revêtue de shunts magnétiques, qui se présentent sous deux formes (4) :

- Les shunts magnétiques constitués d'un empilement de tôles magnétiques similaires au noyau, qui canalisent le flux de fuite dans le circuit magnétique.
- Les shunts magnétiques plus économiques, composés de plaques de cuivre ou d'aluminium, qui repoussent le flux de fuite.. (4)



Figure 18: Transformateur immergé dans l'huile

6.1.2 Transformateur sec :

Les transformateurs submergés dans de l'huile liquide à base minérale ou de silicone sont largement utilisés pour les puissances et les niveaux de tensions élevés. Cependant, ils présentent des risques de fuite, d'incendie et de pollution de l'environnement. Cela a conduit au développement de transformateurs avec des enroulements enrobés (imprégnés), où le système d'isolation électrique est remplacé par une résine (époxyde) et de l'air. Des résines spécifiques ont été élaborées pour résister aux tensions électriques ainsi qu'aux contraintes mécaniques ou thermiques rencontrées dans un transformateur en service. L'un des principaux avantages de ce type de transformateur est son comportement non inflammable et léger. Ces transformateurs sont particulièrement adaptés à la distribution de l'électricité avec un haut degré de sécurité. (4)



Figure 19: Transformateur sec.

6.1.3 Autotransformateur :

Un autotransformateur, également connu sous le nom de transformateur abaisseur, est un type particulier de transformateur composé d'un seul enroulement avec des prises intermédiaires. Comparé au transformateur classique, qui possède deux enroulements distincts, cette conception simplifie considérablement la construction, réduit les pertes ohmiques dues à la résistance des conducteurs et élimine les problèmes d'isolement entre les enroulements. Cependant, contrairement au transformateur traditionnel, l'autotransformateur ne fournit pas de séparation galvanique stricte entre le primaire et le secondaire. (4)



Figure 20: Autotransformateur triphasé.

7 Principe de fonctionnement d'un transformateur de puissance :

L'un des deux enroulements, agissant en tant que primaire du transformateur, est alimenté sous une tension variable, générant ainsi un flux variable dans le circuit magnétique. Ce flux induit à son tour une force électromotrice dans le deuxième enroulement, appelé secondaire du transformateur. Étant électriquement indépendants, les deux enroulements permettent au transformateur de réaliser l'isolation galvanique entre les circuits primaire et secondaire. (4)

8 Utilisations des transformateurs de puissance :

Les transformateurs remplis d'huile sont polyvalents et peuvent être appliqués dans presque tous les secteurs de distribution d'énergie. Leur utilisation est particulièrement rentable dans les postes de distribution fixes des entreprises d'énergie et dans l'industrie. Ils sont utilisés dans divers domaines, notamment (4) :

- Distribution industrielle pour la modification de la tension.
- Alimentation des tubes d'image dans les domaines de la radio et de la télévision.
- Sécurité : en tant que transformateur de séparation galvanique.
- Adaptation de l'impédance en télécommunication, souvent désigné sous le terme de translateur.

- Mesure de courant ou de tension, où ils sont utilisés comme transformateurs de courant ou de tension (4)

9 Les principaux organes du transformateur (la constitution de ce système) :

1. **Les bornes de traversées basses et hautes tensions** : Elles se distinguent par leur technologie d'isolation, comprenant les traversées en papier imprégné d'huile (OIP), les traversées en papier enduit de résine (limitées aux basses tensions), et les traversées en papier imprégné de résine (RIP ou ERIP), cette dernière étant la technologie prédominante aujourd'hui. Elles assurent le transit de la puissance. (4)
2. **La cuve composée de tôles d'acier** : Les parois de la cuve peuvent être munies d'ailettes ou être rigides, équipées de radiateurs amovibles selon les modèles. Une étanchéité parfaite est indispensable, et la cuve est soumise à un test sous vide pour vérifier ce critère (4)
3. **Le noyau magnétique** : Fabriqué à partir de tôles d'acier au silicium à grains orientés, l'empilement et l'assemblage des tôles sont réalisés de manière à optimiser les performances électrodynamiques, électriques et acoustiques du transformateur. (4)
4. **Les enroulements** : Ils se présentent sous forme de feuillard, rond, ou méplat en cuivre ou en aluminium, et sont montés sur le noyau. Les formes, sections et nombres de spires des bobinages sont déterminés par les contraintes électriques, thermiques et mécaniques à maîtriser. Chaque bobine est dotée de canaux de refroidissement pour assurer la circulation de l'huile et les échanges thermiques. (4)
5. **Le conservateur d'huile** : Généralement réalisé en acier, le réservoir métallique est situé au-dessus de la cuve du transformateur. Il agit comme un vase d'expansion pour l'huile, compensant les variations de volume induites par les variations de température. Permettant au niveau d'huile de varier sans impacter la pression interne du transformateur et sans exposer les parties actives. (4)
6. **Le dispositif de réglage de la tension ou hors charge** : Il permet d'ajuster le rapport de transformation du transformateur en modifiant le nombre de spires de ses enroulements primaires ou secondaires. Cela permet de réguler le niveau de tension du réseau électrique. (4)
7. **L'armoire de commande** : Elle intègre tous les dispositifs de protection et les systèmes d'alarme pour assurer les déclenchements nécessaires. (4)

8. **Le liquide diélectrique** : Il peut être de l'huile minérale, de l'huile synthétique ou de l'huile végétale, utilisé pour l'isolation électrique à l'intérieur du transformateur. (4)
9. **Les matériaux isolants solides** : Composés de papiers et cartons à base de fibres cellulosiques et/ou de fibres d'aramide, de rubans, de vernis, de résines époxydes, de cartons et de bois, ils assurent l'isolation électrique à divers endroits du transformateur. (4)

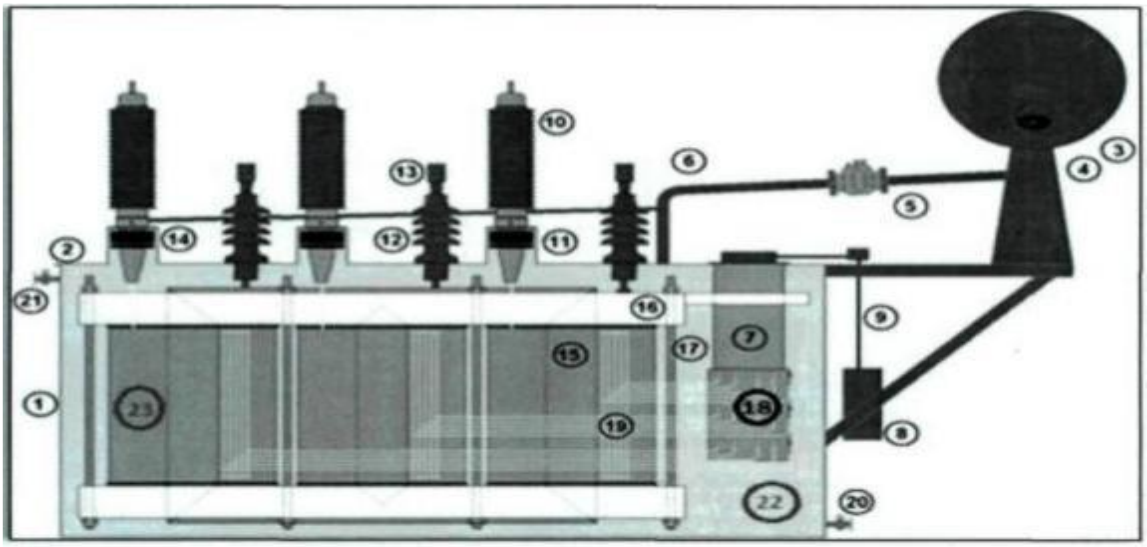


Figure 21: Principaux organes d'un transformateur.

Tableau 1:principe organe d'un transformateur

1	Cuve	13	Contact du secondaire
2	Couvercle	14	Transformateur de courant
3	Conservateur	15	Enroulements
4	Indicateur de niveau d'huile	16	Noyau magnétique
5	Relais Buchholz	17	Élément mécanique maintenant le noyau magnétique et les enroulements ensemble exerçant une force de compression
6	Tuyau d'huile	18	Bornes de connexion du changeur de prises
7	Changeur de prises	19	Connexion du changeur de prises aux enroulements
8	Moteur électrique du changeur de prises	20	Robinet pour prélèvement d'huile
9	Transmission mécanique du changeur de prises	21	Robinet d'air
10	Connexion du primaire	22	**fluide diélectrique (huile)**
11	Bornes de traversée	23	**isolant solide (papier)**
12	Connexion du secondaire		

10 Les défauts du transformateur de puissance

10.1 Les défauts internes

Les défauts internes se produisent à l'intérieur du transformateur et sont souvent difficiles à détecter visuellement en raison de la complexité de la machine. (6)

10.2 Défaut entre phases

Une diminution ou une perte d'isolement entre les enroulements peut entraîner un court-circuit entre phases, ce qui est extrêmement dangereux. La valeur de ce court-circuit peut varier de 6 à 25 fois le courant nominal (6)

10.3 Défaut entre spires

La dégradation ou la perte d'isolation entraîne un contact entre les spires, ce qui peut provoquer un courant élevé, mettant ainsi le transformateur en danger. (6)

10.4 Défaut à la terre :

Les défauts à la terre sont en effet les plus courants, et la valeur du courant dépend à la fois de l'impédance de la terre et de la distance du point neutre au défaut. (6)

10.5 Défaut entre enroulement et la cuve :

La dégradation de l'isolation peut entraîner un contact direct ou indirect avec la cuve du transformateur, ce qui peut générer un courant très élevé et extrêmement dangereux. (6)

10.6 Les défauts externes :

10.6.1 Les court-circuit

Un court-circuit se manifeste par une diminution de l'impédance entre les phases ou entre la phase et la terre, réduisant ainsi cette impédance à zéro ou à une valeur très faible. Cette situation entraîne une augmentation significative du courant électrique. Les courts-circuits peuvent être causés par des facteurs externes ou internes. (6)

10.6.1.1 Causes d'un court-circuit *:*

- Ces pannes peuvent être causées par différentes raisons, notamment :

➢ Des contacts accidentels entre les phases ou entre une phase et le neutre (la terre).

- Des défauts d'isolation.
- Des erreurs de manipulation.
- Pour les lignes aériennes : la foudre, le balancement des conducteurs, les chutes de branches.
- Pour les lignes souterraines : le mouvement du terrain, l'infiltration d'humidité, les coups de pioche.
- Pour les postes : les défaillances d'équipement, le vieillissement. (6)

10.6.1.2 Les effets de court-circuit :

10.6.1.2.1 Phénomène thermique :

Dans ce processus, il est possible que la température des bobinages du transformateur atteigne des niveaux critiques susceptibles de compromettre l'intégrité de l'isolation. (6)

10.6.1.2.2 Phénomène électrodynamique

Les interactions électrodynamiques entre les spires, les galettes et même entre les bobines primaires et secondaires des enroulements de transformateurs génèrent des forces qui représentent un danger pour l'intégrité du circuit électrique dans son ensemble, mais qui sont particulièrement préoccupantes pour les enroulements. (6)

10.6.1.3 Conséquences du court-circuit :

- Survenue d'une surintensité.
- Baisse de tension entraînant le décrochage des machines.
- Déséquilibre du réseau électrique.
- Perturbation du synchronisme.
- Impact sur les lignes de télécommunication.
- Risque de déclenchement d'un incendie. (6)

10.6.2 Les surtensions

Les composants du réseau électrique, notamment les transformateurs de puissance, sont soumis à des contraintes de tension. Ces contraintes peuvent être permanentes en raison de la tension de service nominale, mais également temporaires en raison de surtensions provenant de diverses sources. On qualifie de surtension dans un transformateur toute élévation de tension au-dessus de sa tension de service maximale. En règle générale, le terme "surtension" désigne des phénomènes de courte durée se présentant sous forme de courtes impulsions, qu'elles soient périodiques ou apériodiques. (6)

10.6.2.1 Origines des surtensions

Surtensions Transitoires :

Foudre : Les coups de foudre peuvent induire des surtensions dans le réseau électrique en raison des courants élevés qu'ils génèrent. (6)

Manœuvres de Commutation : Les opérations de commutation, telles que l'ouverture ou la fermeture de dispositifs de commutation (disjoncteurs, interrupteurs), peuvent provoquer des surtensions transitoires. (6)

Défaillances d'Equipements : Des défaillances dans les équipements, comme les moteurs ou les condensateurs, peuvent induire des surtensions dans le réseau. (6)

Courants de Changement : Les changements brusques de charge peuvent créer des surtensions transitoires. (6)

Surtensions Permanentes :

Surcharge : Une charge excessive prolongée sur le transformateur peut entraîner une augmentation de la tension au-delà des limites normales. (6)

Problèmes de Régulation de Tension : Une mauvaise régulation de la tension dans le réseau peut entraîner des surtensions permanentes. (6)

Imbalance de Phase : Les déséquilibres de phase dans le réseau peuvent entraîner des variations de tension, provoquant des surtensions. (6)

10.6.2.2 Conséquences des surtensions :

Sur l'Isolement :

Dommages à l'Isolement : Les surtensions peuvent entraîner des défaillances de l'isolement, ce qui peut provoquer des courts-circuits ou des arcs électriques. (6)

Réduction de la Durée de Vie : Les surtensions fréquentes peuvent accélérer la dégradation des matériaux d'isolement, réduisant ainsi la durée de vie du transformateur. (6)

Sur le Fonctionnement :

Perte d'Efficacité : Les surtensions peuvent réduire l'efficacité opérationnelle du transformateur et affecter ses performances globales. (6)

Chauffage Excessif : Les surtensions peuvent entraîner un échauffement excessif, ce qui peut endommager les composants internes. (6)

Sur la Sécurité :

Risque d'Incendie : Les surtensions peuvent provoquer des arcs ou des courts-circuits qui, en cas de défaillance sévère, peuvent entraîner des risques d'incendie. (6)

Sécurité du Personnel : Les défaillances dues aux surtensions peuvent représenter un danger pour le personnel de maintenance et d'exploitation. (6)

Sur la Fiabilité du Réseau :

Perturbations du Réseau : Les surtensions peuvent entraîner des interruptions de service ou des perturbations dans la fourniture d'énergie. (6)

Endommagement d'Autres Équipements : Les surtensions peuvent également affecter d'autres équipements connectés au même réseau électrique. (6)

10.6.3 Les surcharges **:**

Les surcharges entraînent l'échauffement du transformateur et sont généralement dues à l'augmentation du nombre de charges alimentées simultanément, ce qui se traduit par une surintensité prolongée. (6)

10.6.3.1 Conséquences des surcharges *:*

1. Échauffement excessif, endommageant l'isolation.
2. Vieillissement accéléré de l'isolation, réduisant la durée de vie.
3. Réduction de l'efficacité du transformateur.
4. Risque accru d'explosion ou d'incendie.
5. Déclenchements intempestifs des dispositifs de protection.
6. Impact négatif sur la qualité de l'alimentation électrique.
7. Coûts élevés de réparation ou de remplacement. (6)

11 L’influence de l’environnement sur les transformateurs :

- Les courts-circuits sont souvent provoqués par des phénomènes tels que les coups de foudre et les mouvements de terrain.
- Par ailleurs, l'humidité est un facteur prédominant dans les dommages causés à l'isolation, entraînant une diminution de sa résistance électrique. (6)

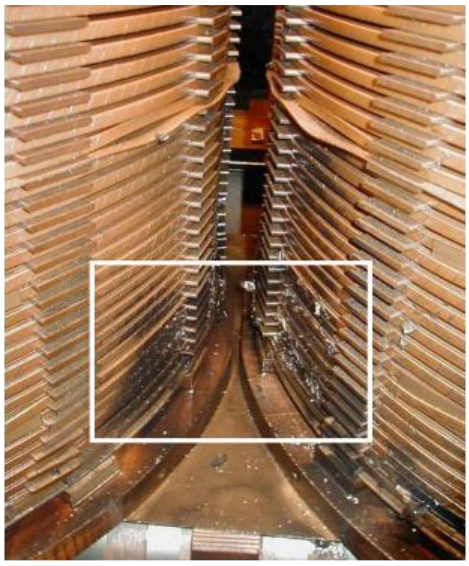


Figure 23: Amorçage entre enroulements



Figure 22: : Amorçage entre spires, sans court-circuit entrent-elles

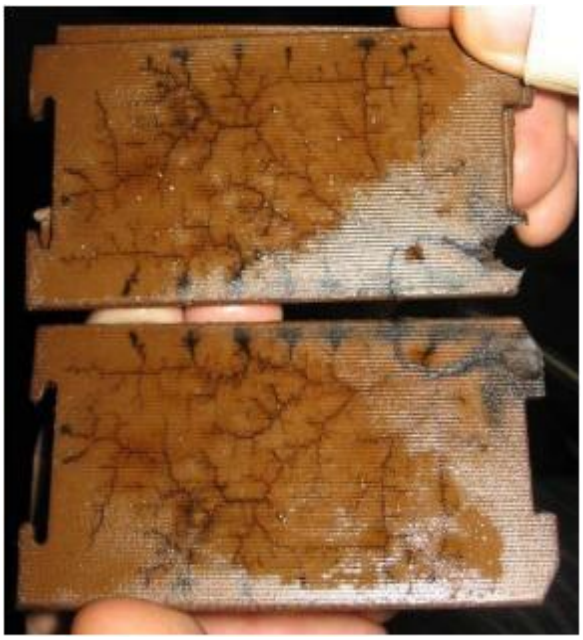


Figure 24: Point chaud sur le sélecteur d’un régleur en charge



Figure 25: Décharges partielles sur des cales



Figure 28: : Déformation mécanique d'un enroulement.



Figure 27: : Coupure suite à la fusion d'un conducteur



Figure 26: : Amorçage du corps insérable d'un régleur en charge

12 Les risques liés aux transformateurs de puissance :

Les transformateurs électriques revêtent une importance capitale au sein des installations industrielles, étant indispensables à la production d'électricité. Cependant, leur fonctionnement requiert l'utilisation d'huile diélectrique, source potentielle de risques environnementaux tels que la pollution des nappes phréatiques et les incendies, comme nous l'examinerons ci-dessous. (7)

- Un risque majeur réside dans la possibilité d'une fuite accidentelle d'huile de transformateur dans les eaux de drainage, entraînant une pollution des sols par les hydrocarbures, ce qui constitue une menace significative pour l'écosystème.
- De plus, il est envisageable qu'un transformateur électrique puisse prendre feu en cas de fuite d'huile importante. En effet, une quantité insuffisante d'hydrocarbures pour assurer le refroidissement normal du transformateur, combinée à une isolation inadéquate, crée des conditions propices à l'ignition.
- Un défaut interne du transformateur peut conduire à une surpression et à une déformation de la cuve, entraînant des fuites d'huile. Selon les circonstances, cela peut déclencher l'inflammation de l'huile ou même une explosion. (7)

13 Les effets des transformateurs de puissance :

13.1 Effets sur l'humain :

L'impact sur la santé humaine est un aspect crucial à considérer en présence de lignes à haute tension, comme en témoignent plusieurs études. Une exposition prolongée aux champs magnétiques engendrés par ces lignes est associée à des risques significatifs pour la santé, notamment le développement de cancers. Des études ont notamment signalé une corrélation entre l'exposition prolongée aux champs magnétiques et l'incidence accrue de leucémies chez les enfants, une forme de cancer affectant les cellules sanguines. (8)

Par ailleurs, les dangers immédiats tels que l'électrocution et l'électrisation doivent également être pris en considération (8)

13.2 Effets sur l'environnement :

La présence de transformateurs électriques peut entraîner diverses formes de pollution, notamment la contamination des nappes phréatiques, du sol et de l'air, constituant ainsi une menace pour l'environnement.

De plus, en cas d'explosion ou d'incendie, il existe un risque d'effondrement de l'infrastructure, affectant les sols, les sous-sols et les surfaces environnantes.

14 Les accidents des transformateurs de puissance

L'incident survenu **le 26 juillet 2012** à Serquigny a été attribué à une émanation d'hydrogène suivie d'une explosion, probablement causée par une contamination de l'huile du transformateur par l'humidité. Deux hypothèses principales ont été avancées pour expliquer cette contamination : un défaut dans le processus d'étuvage du papier absorbant et/ou une défaillance dans la procédure de remplacement de l'huile. Les conséquences de cet incident ont été significatives, incluant un risque immédiat pour la sécurité en raison de la possibilité de chute de câbles électriques, la fermeture de la route départementale adjacente par précaution, et la mobilisation des services de secours pour gérer la situation. L'incendie qui s'est déclaré a nécessité l'intervention rapide des équipes sur place, qui ont pu éteindre le feu et rétablir l'alimentation électrique grâce au transformateur de secours. Cet incident a également provoqué une interruption temporaire de la production de l'usine, qui a repris en fin de nuit après la sécurisation du site. (9)

Le 13 mai 2014, la pire catastrophe industrielle de l'histoire turque a eu lieu à la mine de Soma, causée par une défaillance d'un transformateur immergé dans l'huile, entraînant une explosion et un incendie massif. Ce sinistre a provoqué une panne générale du système électrique et l'effondrement d'une partie de l'infrastructure souterraine à environ 2000 mètres de profondeur, où se trouvaient près de 780 mineurs. Le bilan tragique s'est élevé à 301 morts, faisant de cet événement une des pires tragédies industrielles du pays. Les conséquences incluent l'arrestation de 24 personnes pour négligence, comprenant des gestionnaires et des responsables techniques de la société Soma Komur, et des discussions sur la responsabilité éventuelle du propriétaire de la mine. Cette catastrophe a également révélé d'importantes défaillances en matière de sécurité dans l'industrie minière turque. (9)

En juin 2020, un incendie a éclaté dans une centrale électrique à Saint-Aignan-des-Gués, en France, suite à une défaillance interne du transformateur, liée à une mauvaise isolation et une

fuite d'huile diélectrique. Le manque de maintenance et un refroidissement inefficace ont conduit à la surchauffe. Bien que l'incident n'ait pas causé de victimes graves, il a perturbé l'approvisionnement en électricité dans la région, affectant temporairement les industries locales. L'événement a mis en lumière les lacunes des protocoles de maintenance, poussant à des réformes au sein des infrastructures électriques du pays pour prévenir de futures interruptions.



Figure 29: Explosion d’un transformateur.

Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous avons exposé la structure générale des transformateurs de puissance ainsi que les divers types de défauts auxquels ils sont sujets. Nous avons examiné en détail les risques inhérents aux transformateurs et leurs implications sur la sécurité humaine et l'intégrité environnementale. En conclusion, nous avons évoqué plusieurs incidents impliquant des transformateurs survenus à l'échelle mondiale. Il en résulte que le transformateur représente un élément indispensable du réseau de distribution d'électricité, tout en étant soumis à diverses contraintes.

Il convient de souligner qu'un transformateur mal entretenu ou présentant des défaillances peut engendrer des dommages considérables. Par conséquent, il est impératif de mettre en place des mesures préventives visant à éviter les défaillances potentielles et d'appliquer des actions de maintenance afin d'assurer le bon fonctionnement de ce système.

Chapitre III

Les méthodes appliquées pour l'évaluation des risques et les actions de maintenance

Chapitre III : Les méthodes appliquées pour l'évaluation des risques et les actions de maintenance

introduction

Ces dernières décennies ont été marquées par un essor technologique qui a considérablement modifié les exigences en matière de sûreté de fonctionnement des systèmes, devenus de plus en plus complexes. Les systèmes industriels ont connu une augmentation significative des accidents majeurs et des catastrophes, tels que les incendies et les explosions, ayant des répercussions graves sur les personnes, les biens et l'environnement. Par conséquent, des efforts substantiels sont déployés pour assurer la sécurité des installations industrielles. Cette maîtrise s'appuie sur des méthodes d'analyse des risques, fondées sur diverses données et informations concernant le système étudié, son environnement et le phénomène en question. Ces dernières années, plusieurs techniques et modèles mathématiques pour la prévision des risques ont été développés. Parmi ceux-ci, on peut citer l'analyse des dangers du procédé (Process Risk Analysis : PRA), et l'analyse quantitative des risques (Quantitative Risk Analysis : QRA). D'autres méthodes incluent HAZOP, AMDEC, l'arbre des causes, et l'arbre des événements,ADD . (10)

L'objectif est d'évaluer les risques individuels et sociétaux afin de mettre en place des mesures appropriées. Dans ce chapitre, nous aborderons les méthodes (AMDEC, ADD) pour quantifier les risques des transformateurs de puissance. (10)

1 Comment on peut définir un risque ?

Un risque correspond à la probabilité qu'un individu subisse des dommages ou des effets nocifs sur sa santé lorsqu'il est exposé à un danger. Ce concept s'applique également aux situations impliquant des pertes matérielles ou des impacts négatifs sur l'environnement. Les éléments influençant le niveau ou la probabilité du risque incluent (10) :

- La nature de l'exposition : fréquence à laquelle une personne est en contact avec une substance ou une situation dangereuse (par exemple, plusieurs fois par jour, une fois par an).
- Le mode d'exposition : méthode par laquelle une personne entre en contact avec le danger (par exemple, inhalation de vapeurs, contact cutané).

- La gravité des effets : certaines substances peuvent causer des affections graves comme le cancer de la peau, tandis que d'autres peuvent provoquer des irritations cutanées. Le cancer constitue un effet bien plus grave que l'irritation. (10)

2 Qu'est-ce qu'une évaluation des risques ?

L'évaluation des risques est une approche méthodique qui implique l'identification, la classification et la hiérarchisation des risques dans le but de mettre en œuvre des mesures préventives appropriées. Cette démarche doit être exhaustive, globale et orientée vers la prévention (10).

L'évaluation des risques est le processus par lequel :

- L'identification des dangers et des facteurs de risque potentiels causant un préjudice est effectuée.
- Une analyse approfondie et une évaluation du risque associé à chaque danger sont réalisées.
- Des mesures adéquates sont déterminées pour éliminer le danger ou pour contrôler le risque si l'élimination du danger n'est pas possible. (10)

Les évaluations des risques jouent un rôle crucial dans un plan de gestion efficace de la santé et de la sécurité au travail. Leur contribution comprend :

- Sensibiliser les individus aux dangers et aux risques présents dans leur environnement professionnel.
- Identifier les personnes exposées à ces risques, qu'il s'agisse des employés, du personnel d'entretien, des visiteurs, des entrepreneurs ou encore des membres du public.
- Identifier la nécessité d'un programme de gestion pour un danger spécifique.
- Évaluer l'adéquation des mesures de contrôle des risques existantes et déterminer si d'autres doivent être mises en place.
- Prévenir les blessures ou les maladies en effectuant des évaluations lors des phases de conception ou de planification.
- Classer les risques et les mesures de contrôle associées par ordre de priorité.
- Se conformer aux obligations juridiques pertinentes, le cas échéant. (10)

3 Méthodologie de l’analyse des risques

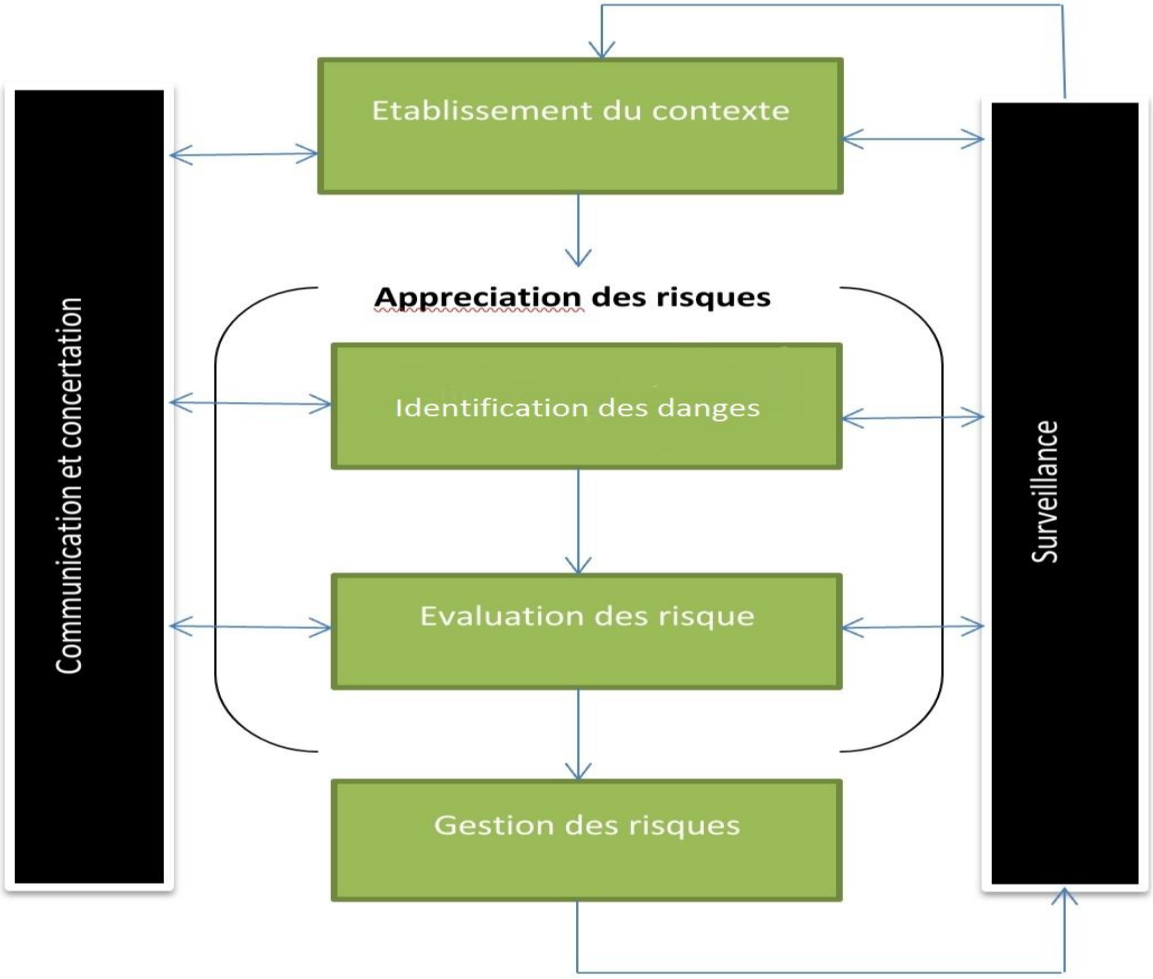


Figure 30:l'appreciation des risques dans le processus global de gestion des risques (adapte de la norme ISO 31000)

4 L’analyse des risques :

L'analyse des risques représente la première étape d'un processus d'évaluation des risques. Elle consiste en un ensemble d'activités visant à identifier de manière systématique et continue les dangers ainsi que les facteurs de risque, puis à déterminer et évaluer le niveau de risque en vue d'établir des mesures de prévention appropriées. (10)

5 Méthodologie de l'analyse des risques :

L'analyse des risques doit être organisée de manière structurée afin de faciliter une évaluation par étapes. Ces étapes sont généralement illustrées dans une figure schématique pour une meilleure compréhension (10).

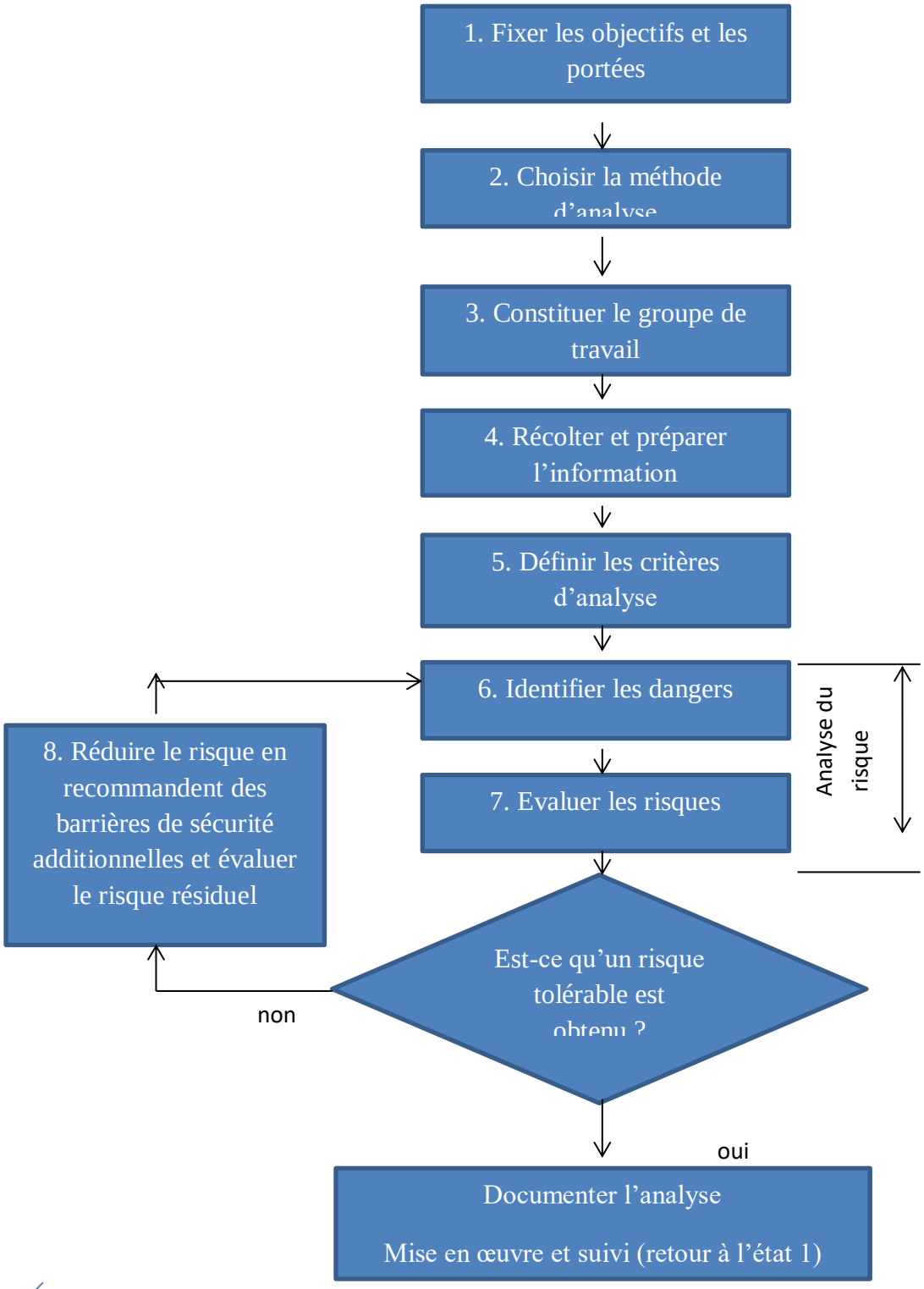


Figure 31: processus d'analyse des risques

6 Classification des méthodes d'analyse des risques

.

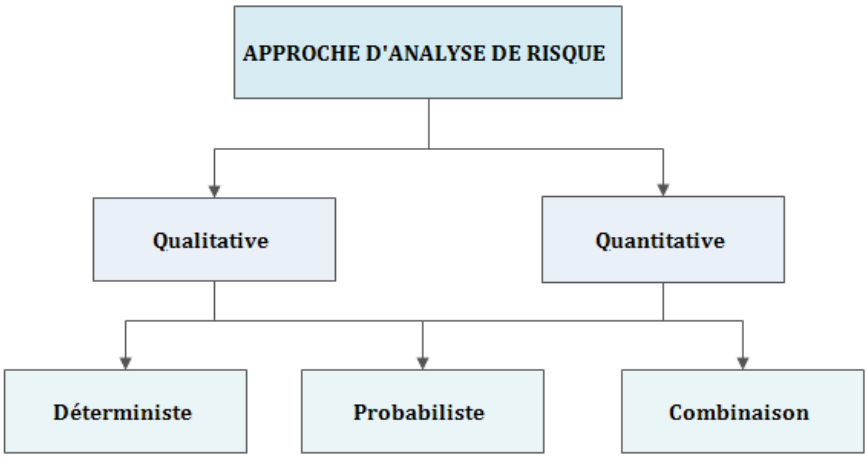


Figure 32:Typologie des méthodes d'analyse de risque

6.1 Méthodes quantitatives

Les analyses quantitatives reposent sur l'utilisation d'outils mathématiques dans le but d'évaluer la fiabilité de fonctionnement, notamment en ce qui concerne la sécurité. Cette évaluation peut s'effectuer par le biais de calculs de probabilités, comme dans le cas de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté. De plus, elle peut faire appel à des modèles différentiels probabilistes tels que l'Arbre de Défaillance et l'Arbre d'Événements.et reseaux bayesien (10)

Les analyses quantitatives offrent divers avantages, notamment :

- Évaluer la probabilité des éléments de la sûreté de fonctionnement.
- Établir des objectifs de sécurité clairs.
- Évaluer l'acceptabilité des risques en prenant en compte des facteurs tels que la fréquence des contrôles, la durée des situations dangereuses et le niveau d'exposition.
- Fournir une assistance précieuse pour évaluer la nécessité d'améliorer la sécurité.
- Prioriser les risques identifiés.
- Comparer et classer les actions à entreprendre, en accordant la priorité à celles qui réduisent de manière significative les risques.

- Favoriser une coordination et une collaboration plus efficaces en matière de sécurité entre les différents opérateurs ou équipes impliqués (exploitation, maintenance, etc.). (10)

6.2 Méthodes qualitatives :

Une méthode d'analyse de risques qualitative implique l'identification des événements dangereux ou des séquences d'événements dangereux (scénarios), ainsi que l'analyse de leurs causes et de leurs conséquences. Contrairement aux approches quantitatives qui évaluent les conséquences des événements de manière chiffrée, les méthodes qualitatives se concentrent sur une estimation sans quantification précise des impacts potentiels. Divers outils d'analyse et d'évaluation des risques qualitatifs sont disponibles, notamment l'Analyse Préliminaire des Risques (APR), la HAZOP, l'AMDEC, l'Arbre de Défaillance et l'Arbre d'Événements.

Dans ce mémoire, deux méthodes ont été retenues, à savoir l'AMDEC et l'Arbre de Défaillance, afin d'analyser les risques liés au transformateur de puissance 20/400 kV. (10)

7 La méthode AMDEC :

L'AMDEC, connue sous l'acronyme de "Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité", est une méthode utilisée en maintenance. Elle se distingue par son caractère inductif, exhaustif et rigoureux. Son objectif principal est d'analyser les causes réelles de défaillance ayant un impact sur la performance du dispositif de production d'un système. Cette altération de performance est souvent mesurée par une faible disponibilité du moyen de production. L'analyse AMDEC vise à identifier de manière inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines, puis à rechercher leurs origines et leurs conséquences. Son processus suit le schéma suivant (10) :

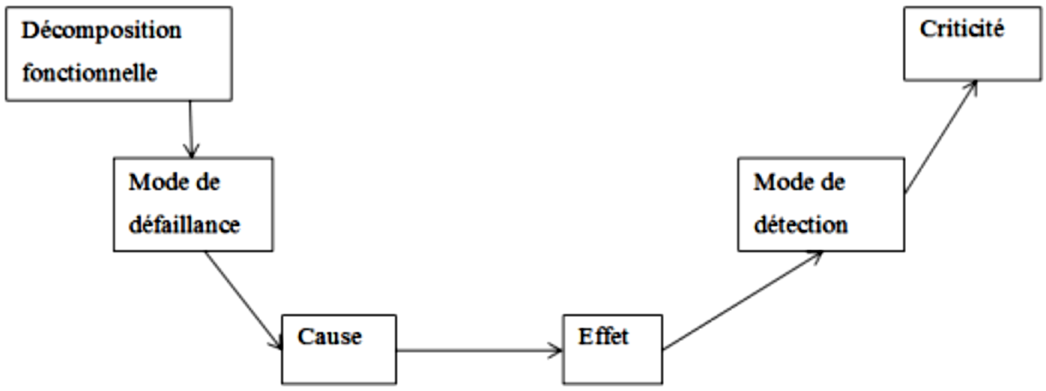


Figure 33: Schéma de principe de l'AMDEC.

7.1 Objectifs de l'AMDEC :

- Identification des défaillances potentielles pouvant déclencher un événement indésirable.
- Proposition d'améliorations visant à renforcer la fiabilité du système ou sa sécurité.
- Proposition de solutions pour améliorer la maintenabilité du système.
- Analyse des conséquences des défaillances identifiées.
- Évaluation de l'importance ou de la criticité de chaque mode de défaillance.
- Établissement d'échelles de notation pour évaluer la signification et la probabilité de défaillance. (10)

7.2 Les types d'AMDEC :

l existe trois types d'AMDEC, qui peuvent être appliqués respectivement au niveau du produit, du processus ou des moyens. (10)

7.3 Intérêts :

- Analyse qualitative et quantitative rigoureuse et précise.
- Intégration de divers aspects liés à la sécurité tels que la maintenance, l'opérabilité et la fiabilité.
- Approche complémentaire à celle de l'arbre des défaillances, adoptant une démarche inverse.

7.4 Limites :

- Processus long et fastidieux, surtout pour des systèmes complexes. Dans certains cas, l'analyse peut être simplifiée en se limitant à une approche qualitative, ce qui est alors nommé AMDE.
- Inadaptée pour les systèmes hautement informatisés.
- Ne permet pas la détection des défaillances multiples. (10)

7.5 L'analyse AMDEC :

La démarche de l'AMDEC repose sur la recherche des éléments suivants :

- Modes de défaillance.
- Effets de défaillance.
- Causes de défaillance.
- Criticité des défaillance (10)

7.6 Indice de Gravité :

Tableau 2: indice de gravite

Niveau de G	Definition
1	o Réduction du temps d'arrêt de production à moins de 2 heures. (10) o Absence de dégradation notable du matériel.
2	o Temps d'arrêt de production de 2 à 5 heures, avec possibilité d'intervention pendant cette période. o Réparation de courte durée ou petite réparation sur place nécessaire pour remettre en état

3	○ Temps d'arrêt de production excédant 5 heures. ○ Intervention majeure requise sur un sous-ensemble.
4	○ Arrêt de production excédant 24 heures. ○ Intervention majeure requise impliquant des équipements coûteux. ○ Risque de sécurité pour le personnel ou l'environnement.

7.7 Indice de Fréquence :

Tableau 3:indice de fréquence

Niveau de F	Définition
1	○ Les défaillances sont extrêmement rares sur des installations analogues en service. Dans le pire des cas, une seule défaillance peut survenir sur la durée de vie de l'équipement de production (10)
2	○ Les défaillances sont peu fréquentes sur des équipements similaires déjà en fonctionnement (par exemple, environ un défaut par an), ou sur des composants d'une technologie émergente pour lesquels toutes les conditions

	théoriques sont réunies pour prévenir les défaillances, mais où il n'y a aucune expérience sur des équipements réellement exploités.
3	○ Les défaillances sont occasionnelles sur des équipements similaires déjà en fonctionnement, avec une fréquence estimée à environ un défaut par trimestre
4	○ Les défaillances sont fréquemment observées sur un composant bien identifié ou sur des équipements similaires déjà en exploitation, avec une incidence indicative d'environ un défaut par mois.

7.8 Indice de Détection

Tableau 4:indice de détection

Niveau D	Définition
1	○ Un indicateur précoce clairement identifiable d'une détérioration imminente (10)
2	○ Un signe précurseur de défaillance facilement repérable mais nécessitant une intervention spécifique de l'opérateur, telle qu'une visite, un contrôle ou une observation visuelle.

3	○ Un signe précurseur de défaillance difficilement repérable, peu utilisable sans recourir à des moyens complexes tels que le démontage ou l'utilisation d'appareillages spécialisés
4	○ Il n'y a aucun signe précurseur perceptible de la défaillance.

7.9 Indice de Criticité

le taux de criticité = probabilité × gravité

Tableau 5:indice de criticité

Niveau de C	définition
C < 10	○ La mise sous correctif est effectuée pour remédier aux problèmes immédiats. (10)
10 < C ≤ 20	○ La mise sous préventive est réalisée pour éviter les problèmes futurs.
20 < C ≤ 32	○ La recherche d'amélioration est entreprise pour améliorer continuellement les performances.
32 < C ≤ 64	○ Si nécessaire, une reprise de la conception est envisagée pour résoudre des problèmes structurels ou fondamentaux.

8 L’arbre de défaillance

8.1 Définition

Un arbre de défaillances, également connu sous les noms d'arbre de dysfonctionnements ou d'arbre des défauts, est une technique d'ingénierie largement utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques. Cette méthode est de nature déductive, visant à identifier les causes possibles de défaillance d'un système en partant de l'analyse des défaillances jusqu'à leurs origines potentielles. (11)

8.2 Objectifs

L'arbre de défaillances, également appelé arbre de dysfonctionnements ou arbre des défauts, est une méthode déductive utilisée pour analyser les causes potentielles d'un événement final indésirable. On commence par définir cet événement final, puis on recherche les différentes combinaisons d'événements élémentaires ou de défaillances qui pourraient le conduire. En identifiant ces éléments, on peut ensuite mettre en place des mesures préventives pour réduire la probabilité d'occurrence de cet événement final. (11)

8.3 Mise en œuvre de la méthode :

- Précision de l'événement final non souhaité.
- Analyse approfondie du système concerné.
- Élaboration de l'arborescence des événements.
- Utilisation de l'arbre pour :
    - Évaluer la probabilité de chaque événement élémentaire.
    - Calculer la probabilité d'occurrence de l'événement final.
    - Identifier les trajets critiques menant à l'événement final indésirable.
    - Améliorer la structure de l'arbre en ajoutant des barrières supplémentaires pour réduire les risques. (11)

8.4 Elaboration de l’arbre :

L'objectif de la construction de l'arbre des défaillances est de déterminer les séquences d'événements qui pourraient conduire à l'événement final choisi. Cette analyse est complète lorsque toutes les causes potentielles sont identifiées comme des événements élémentaires. (11)

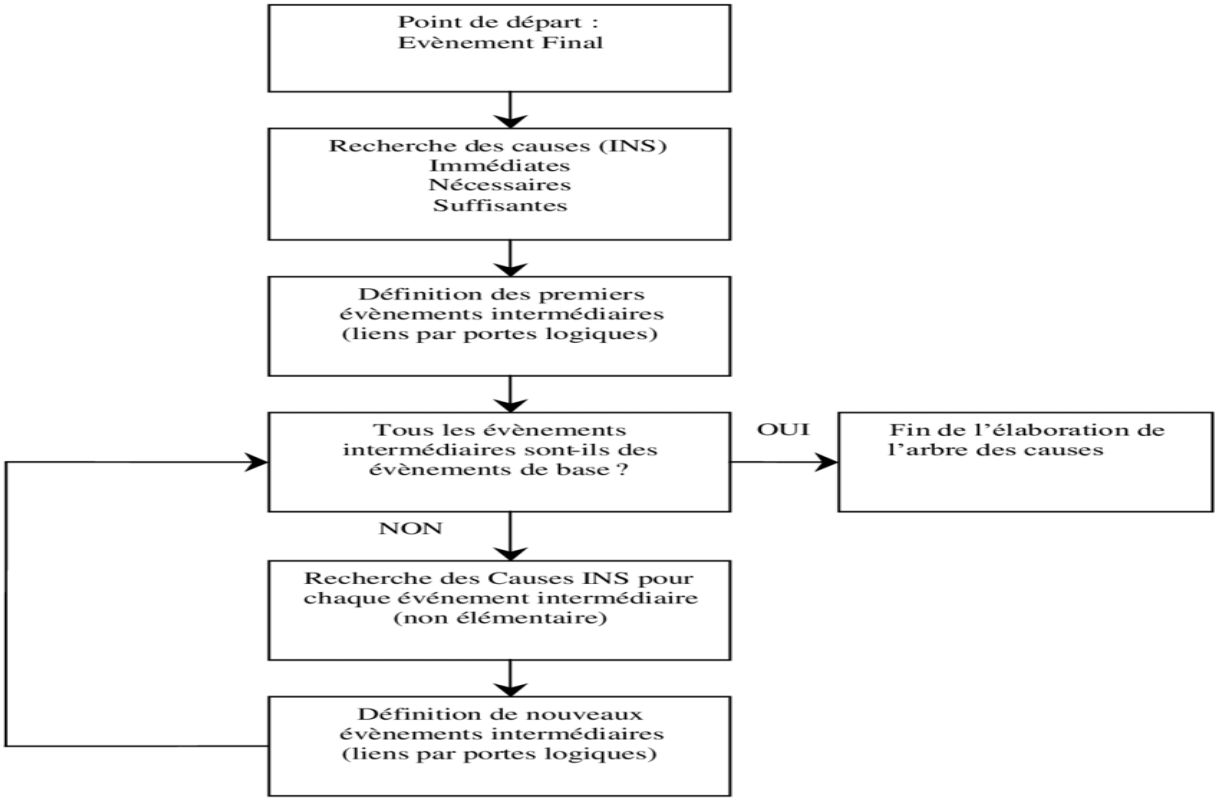


Figure 34: Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances.

8.5 Intérêts :

- Méthode précise, à la fois qualitative et semi-quantitative, mise en œuvre par une équipe multidisciplinaire.
- Implique l'analyse des combinaisons d'événements.
- Identifie les chemins critiques et facilite la sélection des actions préventives.

8.6 Limite :

- Une sélection judicieuse et objective des probabilités d'occurrence est cruciale.
- Il faut se méfier des "calculs scientifiques exacts" effectués à partir de "données incorrectes".
- Cette méthode est peu adaptée aux phases transitoires et aux processus discontinus. (11)

9 Les actions de maintenance

Introduction :

La maintenance est une contrainte incontournable pour tout exploitant d'installation industrielle. En effet, les installations et équipements se détériorent avec le temps sous l'effet

de divers facteurs tels que l'usure, la déformation liée au fonctionnement, et l'action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphères, etc.). Ces dégradations peuvent entraîner des interruptions de fonctionnement, réduire les capacités de production, et menacer la sécurité des biens et des personnes. De ce fait, la maintenance revêt une importance croissante dans la productivité de l'entreprise, allant au-delà de la simple garantie de bon fonctionnement des équipements. (12)

: 9.1 Définition de la maintenance

Selon l**a norme NF EN 13306 X60-319 de juin 2001**, la maintenance englobe l'ensemble des actions techniques, administratives et de gestion effectuées tout au long du cycle de vie d'un bien, visant à le maintenir ou à le remettre dans un état permettant d'assurer la fonction requise. (12)

9.2 Les objectifs de la maintenance :

Les objectifs du service de maintenance sont clairement définis par une politique établie en fonction de la nature de l'entreprise, prenant en compte trois facteurs essentiels :

- Le facteur technique.
- Le facteur économique.
- Le facteur humain et écologique. (12)

9.3 Les types de maintenance :

Deux types de maintenance sont généralement distingués :

- La maintenance préventive, qui peut être catégorisée en maintenance systématique ou conditionnelle.
- La maintenance corrective, qui peut être réalisée de manière urgente ou différée (12)

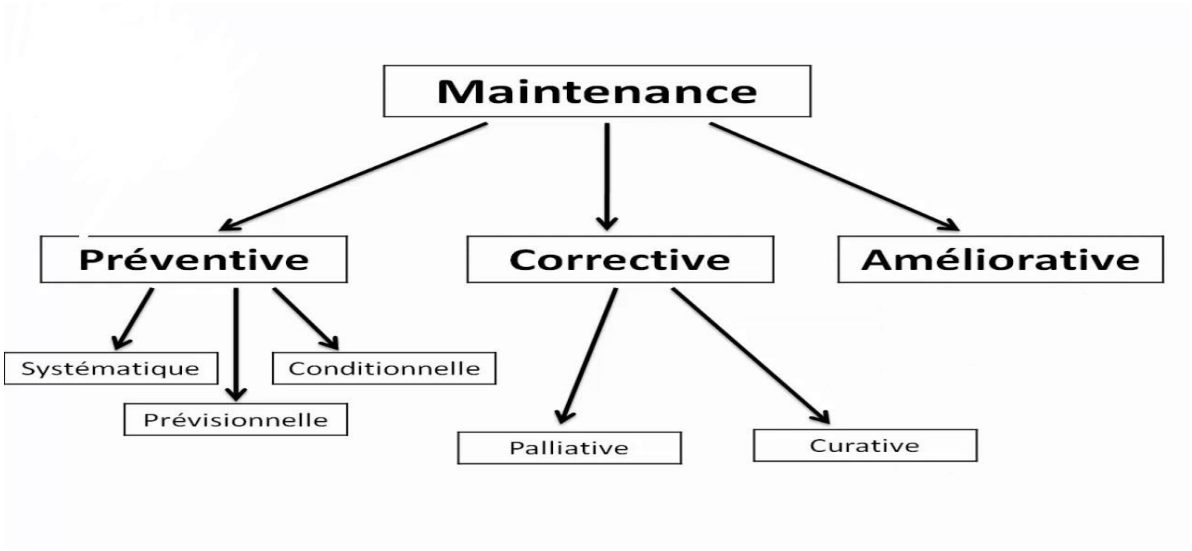


Figure 35: Les types de maintenance.

9.4 Les opérations de maintenance :

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

Norme NF X 60-010

La norme NF X 60-010 est une norme française qui fournit des définitions et des classifications des différentes activités de maintenance. Elle précise les termes utilisés dans le domaine de la maintenance pour assurer une compréhension commune et uniformisée des concepts. (12)

Norme NF EN 13306

La norme européenne NF EN 13306 fournit également des définitions pour les termes utilisés dans la maintenance et s'aligne sur des standards internationaux. Elle couvre des aspects similaires à ceux de la norme NF X 60-010 mais ajoute des précisions et des extensions dans la catégorisation des types de maintenance.

9.4.1 Les opérations de maintenance corrective :

a) **Le dépannage :**

Il s'agit d'une démarche de maintenance corrective visant à rétablir le fonctionnement d'un équipement défaillant pour le remettre en état de marche.

b) **La réparation** :

Il s'agit d'une intervention de maintenance corrective précise et restreinte qui intervient suite à une panne ou une défaillance. L'objectif est de réparer l'équipement de manière à ce qu'il puisse garantir les performances pour lesquelles il a été conçu. (12)

9.4.1 Les opérations de maintenance préventive :

a) Les inspections :

Il s'agit d'activités de surveillance qui consistent à identifier périodiquement des anomalies et à effectuer des ajustements simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni l'arrêt de la production ou des équipements

b) Les visites :

Ce sont des activités de surveillance qui s'inscrivent dans le cadre de la maintenance préventive systématique et qui sont réalisées à intervalles réguliers selon une périodicité définie à l'avance. (12)

c) Les contrôles :

Ils représentent des vérifications de conformité par rapport à des données prédéfinies, suivies d'une évaluation ou d'un jugement.

9.5 Politiques de maintenance :

La stratégie de maintenance des machines a pour objectif d'adapter le type de maintenance afin de minimiser les coûts de maintenance tout en maximisant les bénéfices, comme illustré dans la figure. (12)

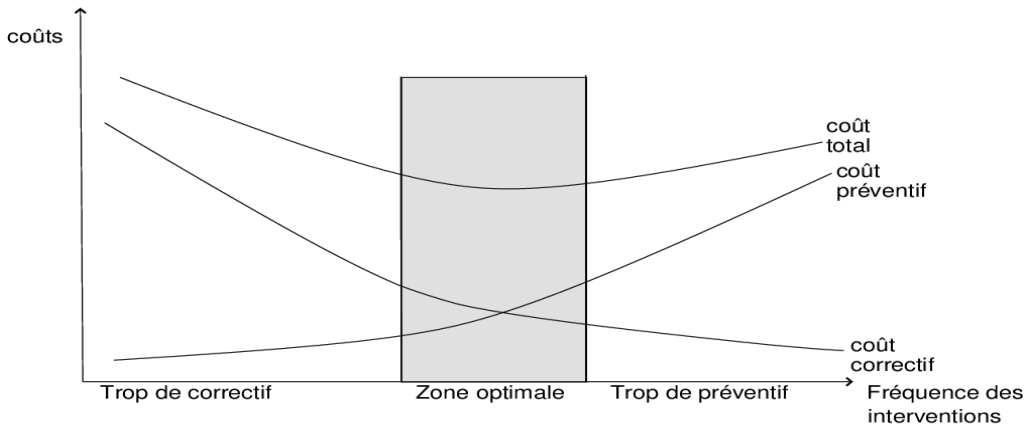


Figure 36: Politiques de maintenance

10 Les actions de maintenance pour le bon fonctionnement :

10.1 Les visites d'inspections :

10.1.1 Visites d'inspection Mensuelle :

Il s'agit de vérifier visuellement et auditivement les appareils en fonctionnement afin de repérer d'éventuelles anomalies telles que des fuites, des bruits inhabituels, des élévations de température ou de l'encrassement (12)

10.1.2 Observations particulières :

- Vérification des niveaux d'huile (pour les conservateurs et les sécheurs).
- Inspection des bornes au niveau des joints.
- Examen des brides de raccordement entre les circuits.
- Les joints des équipements (pompe de circulation, vannes, etc.).
- Les unités d'échange thermique.
- Les dispositifs de mesure de la température. (12)

10.1.3 Écoutes particulières :

- Inspection des ventilateurs de moteurs et des pompes de circulation.
- Détection et évaluation de tout bruit atypique provenant du transformateur, tel que des cliquetis ou des grésillements.
- Surveillance du compteur de décharge des parafoudres.
- Enregistrement du nombre de décharges observées. (12)

10.1.4 Visites d'inspection Annuelle*:*

- Une inspection méticuleuse qui implique de mettre l'appareil hors tension.
- Évaluation générale de l'état du transformateur, comprenant :
- Détection de traces de rouille.
- Vérification de toute absence de peinture.
- État de la visserie à évaluer.
- Observation de l'état des chemins de câbles.
- Évaluation de l'état des tuyauteries.
- Examen de l'état du couvercle supérieur du transformateur.
- Évaluation de l'état des accessoires.

- Réalisation d'analyses d'huile. (12)

11 La maintenance du transformateur de puissance 20/400KV

11.1 Entretien Des Radiateurs :

Fréquence : Annuelle.

Nettoyage :

- Effectuer un nettoyage à l'air ou à l'eau sous pression conformément aux recommandations du fabricant.
- Choisir la date en fonction du principal agent polluant (pollen, sable, etc.) et de préférence avant les périodes de chaleur intense. (12)

Groupe Ventilateur :

- Suivre les recommandations du fabricant pour l'entretien du groupe ventilateur.

11.2 Traversées Ht – Mt – Bt Ou Boite A Câbles :

Fréquence : Une fois par an.

- Contrôle du niveau d'huile sur les traversées haute tension.
- Inspection de la propreté.
- Vérification de l'intégrité des ailettes, en recherchant l'absence de cassures ou d'impact.
- Contrôle de l'étanchéité de l'huile.
- Vérification de l'étanchéité des boîtes à câbles. (12)

11.3 Parafoudre

Fréquence : Mensuelle.

- Enregistrement mensuel des compteurs de décharge.

Fréquence : Annuelle.

- Inspection de la propreté de la traversée.
- Vérification de la connexion haute tension.
- Contrôle de la liaison à la terre. (12)

11.4 Assécheur d'air :

Fréquence : Annuelle ou selon la coloration.

- Renouvellement des charges de silicate.
- Contrôle du niveau d'huile dans le dispositif d'asséchement. (12)

11.5 Commutateur hors tension :

Fréquence : Annuelle.

- Exécution de la manoeuvre du commutateur hors tension sur toutes ses positions.

Remarque : Toutefois, si le commutateur n'a pas été manipulé depuis plusieurs années, il est recommandé de s'abstenir de le faire de manière préventive, car les risques de dysfonctionnement seraient alors plus élevés que les avantages potentiels. (12)

11.6 Changeur de prise en charge :

Fréquence : Annuelle.

- Exécution de la manoeuvre du régleur sur toute la plage afin de contrôler le passage correct des gradins.
- Prise de mesures du temps de passage.
- Inspection des dispositifs de sécurité et de l'appareillage conformément aux recommandations du fabricant.
- Réalisation d'analyses d'huile (physico-chimique et chromatographique).
- À chaque intervalle de 50 000 manœuvres (ou tous les 5 ans), effectuer une révision complète du régleur, incluant le remplacement des pièces selon les besoins (contacts, résistances de passage). Cette opération est réalisée sur site par un représentant du fabricant. La périodicité peut être prolongée à 100 000 manœuvres si le circuit bénéficie d'un filtrage permanent. (12)

11.7 Connexions de puissance :

Fréquence : Annuelle.

- Réalisation d'une inspection par thermographie des connexions haute et basse tensions de puissance pour détecter tout échauffement anormal.

11.8 Appareillage de surveillance et de protection :

Chaque transformateur est équipé de capteurs et d'appareillages conçus pour détecter tout défaut grave et/ou pour protéger contre les éventuelles conséquences d'un dysfonctionnement. Ces capteurs déclenchent une signalisation et/ou commandent le disjoncteur en amont. Il est nécessaire de contrôler chacun de ces systèmes de détection une fois par an. (12)

11.9 Armoires auxiliaires :

Fréquence : Annuelle.

Les armoires auxiliaires ou de regroupement contenant du matériel électrique doivent être soumises à une inspection visuelle. Les éléments suivants doivent être observés :

- Recherche d'échauffements anormaux au niveau des relais, des borniers et des câbles.
- Vérification de l'état des mises à la terre des câbles.
- Contrôle du maintien des câbles dans les presses étoupe.
- Vérification du bon fonctionnement du chauffage et de son thermostat, de la ventilation ou de la climatisation. De plus, l'état général de l'armoire doit être vérifié.
- Inspection pour s'assurer de l'absence de nids d'insectes dans les ouïes d'aération.
- Contrôle de l'état du joint d'étanchéité de la porte de l'armoire. (12)
- Évaluation de l'avancement de la corrosion.
- Vérification de la mise à la terre de l'armoire elle-même sur le réseau général de terre.

11.10 Pièces de rechange :

Fréquence : Annuelle.

Inspection annuelle des pièces de rechange et actualisation des listes, impliquant :

- Identification des types de pièces.
- Enregistrement des numéros de série.
- Documentation des dates de stockage et de péremption.
- Évaluation de l'état de chaque pièce et de son conditionnement (12)

11.11 Analyse d'huile :

Les analyses d'huile jouent un rôle crucial dans le diagnostic de l'état d'un transformateur. Les résultats doivent être interprétés selon les critères suivants :

- En termes de valeurs absolues.

- En observant les tendances.
- En prenant en compte le type de transformateur.
- En considérant son régime de service.
- En tenant compte de son type de construction et des matériaux utilisés. (12)

L'interprétation des résultats peut être délicate, surtout lorsque des seuils limites sont atteints, et elle doit être effectuée par un spécialiste. Par conséquent, la réalisation des analyses et leur interprétation seront idéalement confiées au constructeur de l'appareil, qui possède le plus grand nombre d'informations sur l'équipement parmi les spécialistes. Nous proposons également la fourniture des équipements et des procédures nécessaires pour effectuer les prélèvements dans les meilleures conditions. (12)

11.12 Analyse des composés furaniques :

Fréquence : Tous les 2 ans pour les appareils anciens et/ou très sollicités.

Cette intervention doit être effectuée :

- Sur les appareils anciens (âgés de plus de 10 ans).
- Sur les appareils très sollicités (soumis à un régime de surcharge fréquent, fonctionnant à des températures d'huile élevées). (12)
- Sur les équipements exposant des niveaux élevés d'humidité et/ou des zones de chaleur à température élevée, l'analyse et les mesures à prendre se conforment à la norme CEI 1198, et idéalement, aux recommandations fournies par le laboratoire du constructeur. (12)

En conclusion, afin d'optimiser les actions de maintenance proposées, il est recommandé de constituer un stock de pièces de rechange pour les éléments suivants :

- Les soupapes de pression.
- Les pignons de l'engrenage du régleur en charge.
- Les bornes 400 kV.
- Les protections de surcharge thermique et les capteurs de température.
- Les joints du radiateur et la colle pour l'aridité. (12)

- ✓ Mettre en place des cycles de formation pour les techniciens des services de maintenance et d'exploitation, axés sur les aspects de maintenance des transformateurs de puissance.
- ✓ Élaborer un planning annuel en se basant sur le référentiel de maintenance fourni par le constructeur ainsi que sur les résultats de l'étude de fiabilité. (12)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les méthodes telles que l'AMDEC et l'ADD. Ces méthodes permettent d'identifier les causes et les conséquences potentielles d'un événement, ainsi que de mettre en évidence les barrières de sécurité pouvant être envisagées pour garantir le bon fonctionnement des installations. En conclusion, nous pouvons affirmer que la maintenance des transformateurs de puissance revêt une grande importance dans l'industrie. De plus, il est essentiel de noter que la maintenance ne se limite pas toujours à une refonte complète de l'équipement ; elle consiste plutôt à maîtriser des méthodes d'optimisation afin d'améliorer l'équipement et de le rendre rentable et efficace. (12)

Chapitre IV

L’application des méthodes d’analyse sur le système (Partie pratique)

Chapitre IV : L'application des méthodes d'analyse sur le système (Partie pratique)

Introduction

Le quatrième chapitre de ce mémoire se concentre sur l'application pratique des méthodes d'analyse de fiabilité sur les transformateurs de puissance au sein de la centrale électrique SKT (Sharikat Kahraba Targa). Après avoir exploré les bases théoriques de ces équipements et les approches méthodologiques dans les chapitres précédents, ce chapitre met en œuvre des outils comme l'AMDEC et l'analyse par arbre de défaillance. L'objectif est d'identifier les faiblesses spécifiques du système et d'améliorer la sécurité et la performance à travers une maintenance préventive ciblée. Cette analyse contribue à la compréhension des principaux risques associés aux transformateurs, notamment les défaillances critiques telles que le vieillissement de l'isolation et les fuites d'huile. À travers cette étude, des recommandations sont formulées pour renforcer la gestion des équipements et éviter des incidents similaires à ceux observés dans des cas comme la catastrophe de la mine de Soma, où la négligence a conduit à des pertes humaines tragiques.

Les organes :



Figure 37: noyau magnétique



Figure 38: enroulement de transformateur

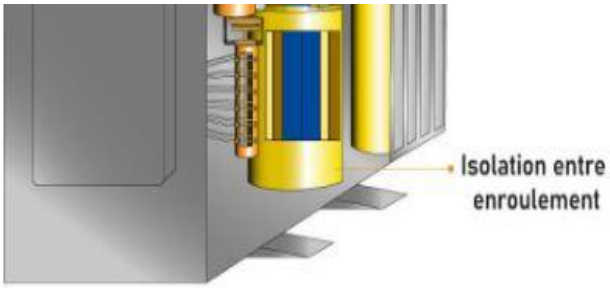


Figure 39: isolation



Figure 40:changeur de prise



Figure 41: système de refroidissement

1 Feuille d'analyse AMDEC :

Tableau 6:tableau de L'AMDEC

Direction de la centrale électrique TERGA REGION : AIN TEMOUCHENT AMDEC du moyen Equipement : transformateur de puissance 20/400 KV (immergé dans l'huile).								
organe	**fonction**	**mode de défaillance**	**cause potentielles**	**Effets de défaillance**	**Indice de criticité**			
					G	**F**	**D**	**C**

Noyau Magnétique	Canaliser le flux magnétique entre les enroulements primaire et secondaire.	saturation	Surtension Vieillissement	Surchauffe Pert d'efficacité	**3**	**3**	**2**	**18**
Les enroulements	Ces dispositifs permettent d'ajuster le rapport de transformation des transformateurs	Court-circuit	Surtension Vieillissement	Interruption de service incendie	4	3	2	**24**
Isolation (huile, papier)	Assurer l'isolation électrique entre les enroulements pour éviter les courts-circuits.	dégradation	Contamination Vieillissement surchauffe	Risque de court-circuit incendie	4	**4**	**3**	**48**
Changeur de prises	Permettre l'ajustement du rapport de transformation pour réguler la tension de sortie.	dysfonctionnement	Usure mécanique, Mauvais réglage	Instabilité de la tension de sortie	**3**	**3**	**3**	**27**

Système de refroidissement	Radiateurs Ventilateurs/ Pompes Circulation d'Huile	Défaillance	Panne mécanique obstruction	Surchauffe Réduction de la durée de vie	4	3	3	36

2 Classification des éléments par leur criticité :

Tableau 7:classification des éléments par leur criticité

Les anomalies	Criticité	
Dégradation de l'Isolation	48	Maintenance préventive
Système de Refroidissement en Défaillance	36	
Défaillance du Changeur de Prises	27	
Enroulements en Court-circuit	24	
Noyau Magnétique en Saturation	18	Maintenance corrective

3 Les actions de prévention :

Maintenance Préventive :

- Effectuer des analyses d'huile tous les trimestres pour détecter les signes de dégradation.
- Réaliser des inspections visuelles mensuelles pour vérifier l'intégrité du réservoir et du boîtier.
- Programmer des tests de fonctionnement du système de refroidissement chaque année.

Maintenance Corrective :

- Intervenir rapidement pour réparer les enroulements en court-circuit dès qu'un problème est identifié.

4 Application de la méthode ADD sur le système (transformateur de puissance) :

4.1 L'analyse structurelle du système :

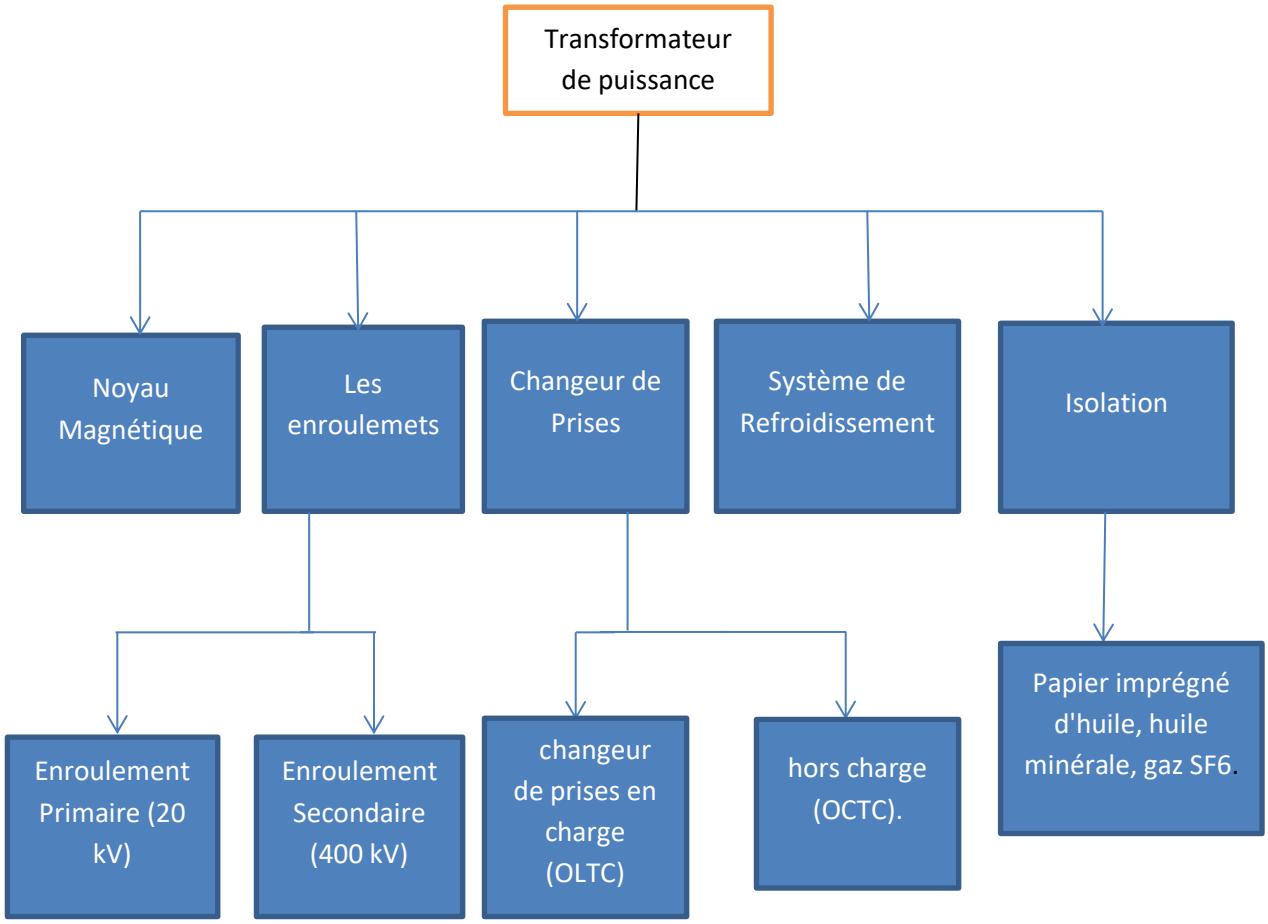


Figure 42: l'analyse structurelle du système.

4.2 L'analyse fonctionnelle du système

Analyse Fonctionnelle du Noyau Magnétique :

Le noyau magnétique concentre le flux magnétique généré par les enroulements primaire et secondaire. Il guide le flux entre les enroulements pour optimiser le processus de transformation de la tension

Analyse Fonctionnelle des Enroulements :

Les enroulements d'un transformateur transforment la tension électrique : l'enroulement primaire reçoit la tension d'entrée, tandis que l'enroulement secondaire fournit la tension de sortie après transformation, en fonction du rapport de transformation établi.

Analyse Fonctionnelle du Changeur de Prises :

Le changeur de prises ajuste le rapport de transformation pour stabiliser la tension de sortie face aux variations de charge ou de tension d'entrée. Il existe deux types : changeur de prises en charge (OLTC), qui permet des ajustements sous tension, et changeur de prises hors charge (OCTC), qui nécessite l'arrêt du transformateur pour effectuer les réglages

Analyse Fonctionnelle du Système de Refroidissement :

Le système de refroidissement évacue la chaleur générée par les pertes dans les enroulements et le noyau pour éviter la surchauffe du transformateur

Analyse Fonctionnelle de l'Isolation :

L'isolation entre les différents composants du transformateur empêche les courts-circuits et protège contre les décharges électriques. Utilise des matériaux tels que le papier imprégné d'huile, l'huile minérale ou le gaz SF6 pour séparer électriquement les enroulements et le noyau.

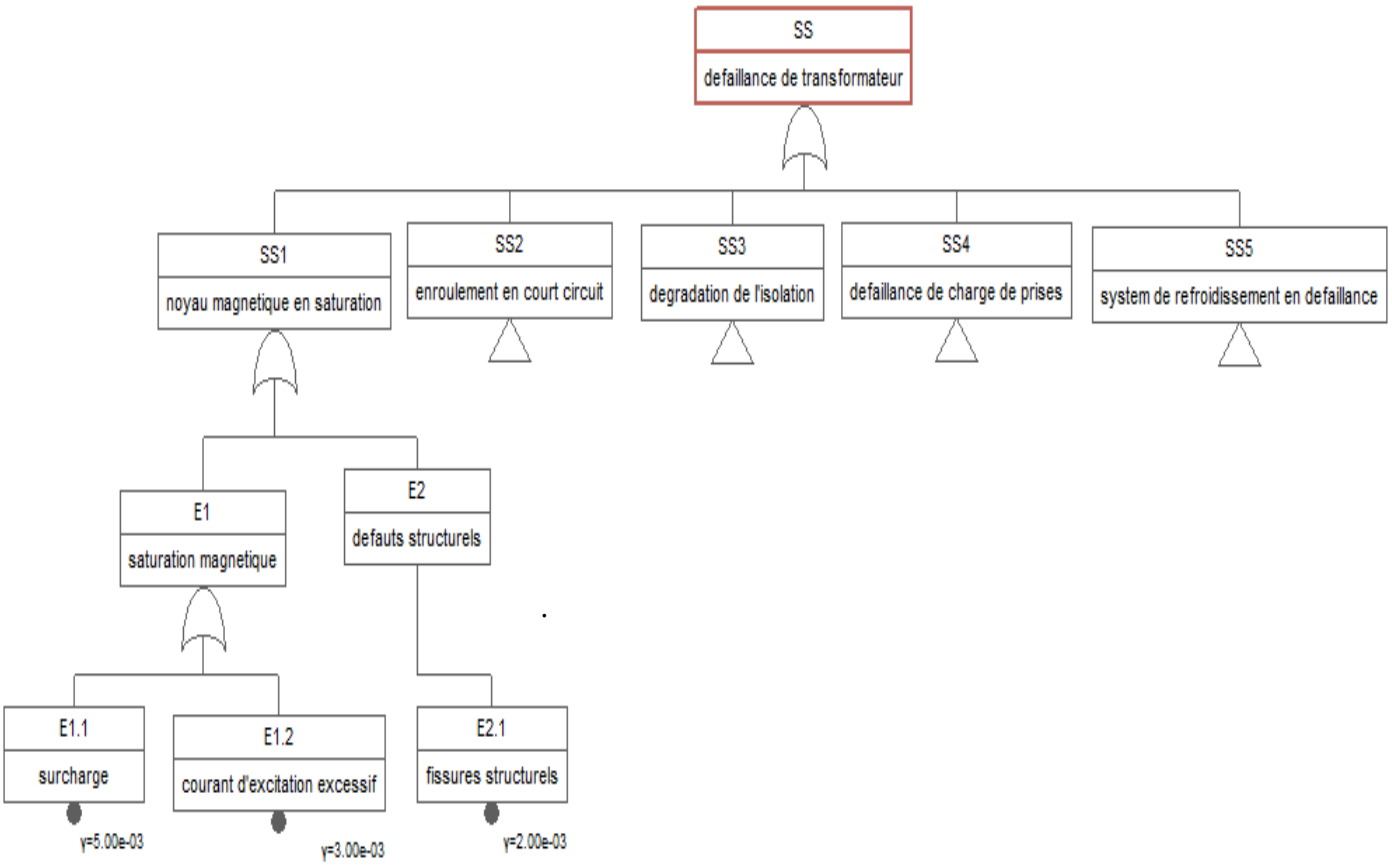


Figure 43:l'arbre de défaillance de système

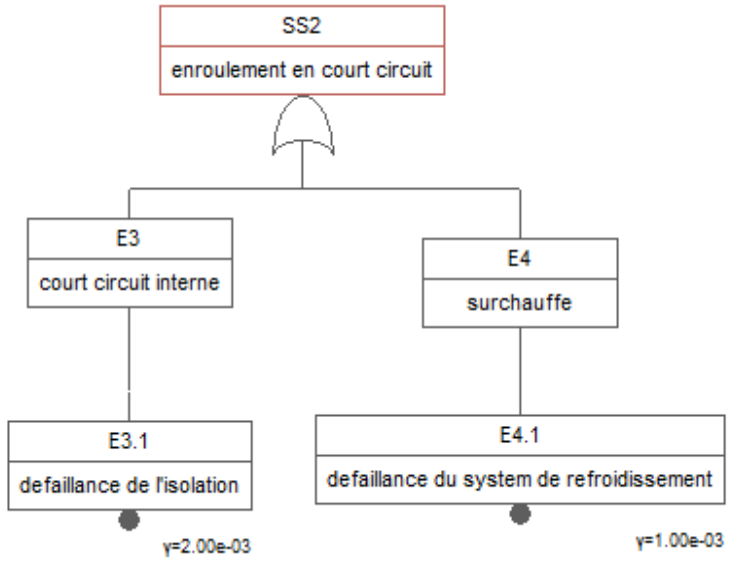


Figure 44:l'arbre de défaillance de système

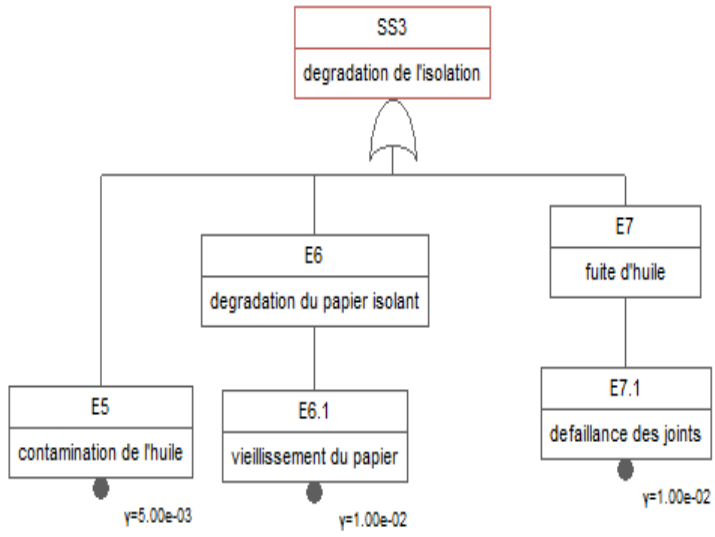


Figure 45:l'arbre de défaillance de système

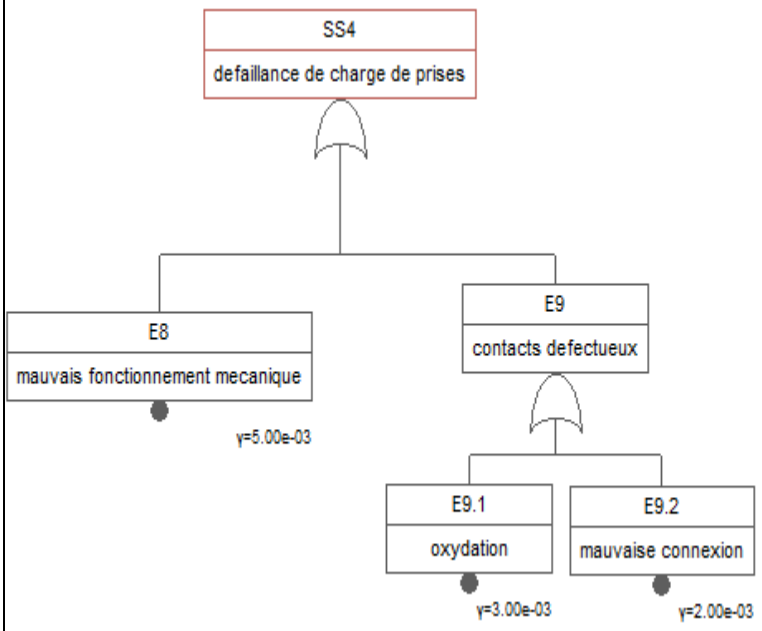


Figure 46:l'arbre de défaillance de système

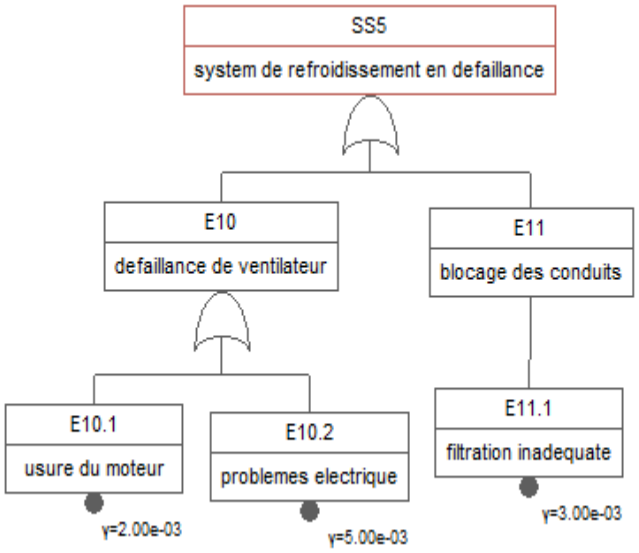


Figure 47:l'arbre de défaillance de système

5 Reconnaissance des causes (évènements) probables possible :

Pour déterminer tous les événements potentiels et probables susceptibles de déclencher l'événement redouté, nous avons adopté une approche basée sur le principe "déductif". Selon cette méthodologie, chaque événement de rang (n-1) est déduit de manière logique à partir de l'événement (n) jusqu'à la conclusion de l'opération, aboutissant ainsi à l'identification de l'événement final désigné comme l' "événement de base". Par conséquent, les divers événements répertoriés concernant notre système d'étude, le Transformateur de puissance, sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

- **L'analyse qualitative du système :**

Tableau 8:les évènements probables

N	Evènement probable
01	Dégradation de l'Isolation
02	Système de Refroidissement en Défaillance
03	Défaillance du Changeur de Prises
04	Enroulements en Court-circuit
05	Noyau Magnétique en Saturation

6 Construction de l'arbre de défaillance du système :

L'arbre de défaillance a été conçu en utilisant les données fournies dans un mémoire. (12)

Codage de l'arbre de défaillance :

Tableau 9:les codes des évènement

Codes événements	Désignations des Evènements
SS	défaillance de transformateur
SS1	Noyaux magnétique en saturation
SS2	Enroulement en court-circuit
SS3	Dégradation de l'isolation
SS4	Défaillance de charge de prises
SS5	Système de refroidissement en défaillance.
E1	Saturation magnétique
E1.1	surcharge
E1.2	Courant d'excitation excessif
E2	Défauts structurels
E2.1	Fissures structurels
E3	Court-circuit interne
E3.1	Défaillance de l'isolation
E4	surchauffe
E4.1	Défaillance du système de refroidissement
E5	Contamination d'huile
E6	Dégradation du papier isolant
E6.1	Vieillissement du papier
E7	Fuite d'huile
E7.1	Défaillance des joints
E8	Mauvais fonctionnement mécanique
E9	Contacts défectueux
E9.1	oxydation
E9.2	Mauvaise connexion
E10	Défaillance de ventilateur
E10.1	Usure de moteur

E10.2	Problèmes électriques
E11	Blocage des conduits
E11.1	Filtration inadéquate

7 Elaboration de l'arbre de défaillance :

Grâce à l'utilisation du logiciel Arbre Analyste, nous avons réussi à élaborer notre arbre d'analyse de sûreté de fonctionnement

SS : l'évènement redouté (défaillance du transformateur)

Les évènements de base sont :
(E1.1,E1.2 ,E2.1,E3.1,E4.1,E5,E6.1,E7.1,E8,E9.1,E9.2,E10.1,E10.2,E11.1).

- L'équation booléenne **:**

SS = SS1 + SS2 + SS3 +SS4+SS5

SS1 = E1+ E2

SS2 = E3+E4

SS3 = E5+ E6 +E7

SS4 = E8 + E9

SS5 =E10+E11

SS1 = E1.1+ E1.2 + E2.1

SS2 = E3.1 + E4.1

SS3 = E5 +E6.1+E7.1

SS4 = E8+E9.1 +E9.2

SS5 = E10.1 +E10.2 +E11.1

SS = E1.1+E1.2+E2.1+E3.1+E4.1+E5+E6.1+E7.1+E8+E9.1+E9.2+E10.1+E10.2+E11.1

8 Les coupes minimales :

Les coupes minimales de cet arbre de défaillance sont classées en ordre 1

(E1.1+E1.2+E2.1+E3.1+E4.1+E5+E6.1+E7.1+E8+E9.1+E9.2+E10.1+E10.2+E11.1)

1) Le classement des coupes minimales :

1) **E1.1**
2) **E1.2**
3) **E2.1**
4) **E3.1**
5) **E4.1**
6) **E5**
7) **E6.1**
8) **E7.1**
9) **E8**
10) **E9.1**
11) **E9.2**
12) **E10.1**
13) **E10.2**
14) **E11.1**

- **L'analyse quantitative du système :**

Le calcul de la probabilité de défaillance repose sur la formule suivante permettant de quantifier les probabilités des événements de base**.** (13)

P : Probabilité de défaillance

R : Fiabilité

$$P = 1-R$$

La formule suivante permet de calculer la fiabilité :

$$R= 1- F$$

F : Taux de défaillance ou fréquence des défaillances.

Avec t = 8760 h (durée de un an pour l'analyse du système).

Donc, les probabilités de tous les événements sont quantifiées comme suit : Avec l'assistance des ingénieurs de la centrale électrique Terga

Tableau 10:probabilite des évènements de base

Evènement	Description	Pr
E8	mauvais fonctionnement mécanique	0.005
E9.2	mauvaise connexion	0.002
E9.1	oxydation	0.003
E1.1	surcharge	0.005
E1.2	courant d'excitation excessif	0.003
E2.1	fissures structurels	0.002
E10.2	problèmes électrique	0.005
E10.1	usure du moteur	0.002
E11.1	filtration inadéquate	0.003
E5	contamination de l'huile	0.005
E6.1	vieillissement du papier	0.01
E7.1	défaillance des joints	0.01
E4.1	défaillance du system de refroidissement	0.001
E3.1	défaillance de l'isolation	0.002

9 Résulta

Les résultats obtenus sont

Q : indisponibilité

Q=0.057

La loi choisie pour les calculs des probabilités est une loi constante donc :

$$Q=F$$

$R=1-F$

$R=1-0.057$

R(SS)=0.943

Le système est fiable

Mais quelle sont les composants critiques de ce système qui peuvent causer l'évènement principal. Les facteurs d'importance sont utilisés pour détecter ces composants

Les facteurs d'importance :

Tableau 11: les facteurs imprtance critique

Evènement	Description	Occurrences	Pr	MIF	CIF	DIF	RAW	RRW	RS Sensibility
E8	mauvais fonctionnement mecanique	1	0.005	1	0.086	0.091	18	1.1	1.9
E9.2	mauvaise connexion	1	0.002	1	0.034	0.036	18	1	1.4
E9.1	oxydation	1	0.003	1	0.052	0.055	18	1.1	1.5
E1.1	surcharge	1	0.005	1	0.086	0.091	18	1.1	1.9
E1.2	courant d'excitation excessif	1	0.003	1	0.052	0.055	18	1.1	1.5
E2.1	fissures structurels	1	0.002	1	0.034	0.036	18	1	1.4
E10.2	problemes electrique	1	0.005	1	0.086	0.091	18	1.1	1.9
E10.1	usure du moteur	1	0.002	1	0.034	0.036	18	1	1.4
E11.1	filtration inadequate	1	0.003	1	0.052	0.055	18	1.1	1.5
E5	contamination de l'huile	1	0.005	1	0.086	0.091	18	1.1	1.9
E6.1	vieillissement du papier	1	0.01	1	0.17	0.18	18	1.2	3
E7.1	defaillance des joints	1	0.01	1	0.17	0.18	18	1.2	3
E4.1	defaillance du system de refroidissement	1	0.001	1	0.017	0.018	18	1	1.2
E3.1	defaillance de l'isolation	1	0.002	1	0.034	0.036	18	1	1.4

les composants critiques :

vieillissement du papier, défaillance des joints

ces solution ;

1. Vieillissement du papier isolant :

- **DGA (Analyse des Gaz Dissous)** : La DGA permet de surveiller l'état de l'isolation en détectant les gaz produits par la dégradation thermique ou électrique du papier. Cette analyse aide à prévenir les défaillances en identifiant les signes avant-coureurs.
- **Amélioration du refroidissement** : Optimiser le système de refroidissement du transformateur pour maintenir une température stable, réduisant ainsi la dégradation du papier isolant.
- **Matériaux d'isolation améliorés** : Utiliser des papiers isolants à haute résistance thermique pour prolonger leur durée de vie.
- **Maintenance préventive** : Planifier le remplacement du papier isolant à des intervalles réguliers avant que des signes graves de dégradation n'apparaissent.

2. Défaillance des joints :

- **Joints de haute performance** : Utiliser des joints en matériaux résistant aux fluctuations de température, à l'usure mécanique et aux produits chimiques présents dans l'huile.
- **Inspection régulière des joints** : Effectuer des contrôles périodiques pour détecter les fuites d'huile et s'assurer de l'étanchéité des joints.
- **Remplacement préventif** : Remplacer les joints après une certaine période d'utilisation pour éviter qu'ils ne deviennent une source de fuites ou de défaillances.
- **Systèmes de détection de fuite** : Installer des capteurs pour détecter les petites fuites et intervenir rapidement avant qu'elles ne causent des dommages graves.

Conclusion :

Dans cette section, les méthodes (AMDEC, ADD) ont été utilisées pour étudier les risques des transformateurs de puissance. Ces techniques offrent la possibilité de repérer les origines et les répercussions éventuelles d'un événement et de mettre en évidence les obstacles de sécurité qui peuvent être pris en compte afin de maintenir le bon fonctionnement des installations. Il n'y a pas de méthode parfaite ou incorrecte, chaque méthode présente ses propres avantages et inconvénients. Ainsi, une méthode spécifique est généralement plus ou moins adaptée au contexte de l'installation étudiée et aux objectifs visés. De addition, il n'y a pas de règle claire et explicite qui justifie en fonction de critères clairs une méthode

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a permis d'évaluer les risques liés aux transformateurs de puissance, en se concentrant sur le transformateur 20/400 kV de la centrale électrique de Tergal. À travers l'application des méthodes AMDEC et ADD, nous avons identifié les principaux modes de défaillance, leurs causes et leurs conséquences. Ces analyses ont mis en lumière les actions de maintenance préventive essentielles pour assurer la fiabilité et la sécurité du réseau électrique.

Les résultats obtenus démontrent l'efficacité des méthodes d'évaluation des risques dans la réduction des défaillances et l'amélioration de la performance des transformateurs. Pour aller plus loin, l'automatisation de ces analyses grâce à l'intelligence artificielle, l'élargissement de l'étude à d'autres équipements critiques du réseau, et l'instauration d'un suivi en temps réel des transformateurs apparaissent comme des perspectives prometteuses. Ces initiatives renforceront la gestion proactive des risques et amélioreront à long terme la fiabilité des infrastructures électriques.

Références bibliographiques

1. Pertes d'alimentation électrique : des situations à anticiper. *https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/uploads/2013/07/FAR_perturbations-electriques-nov-2010.pdf.* [En ligne] NOVEMBER 2010.

2. *Document interne de Shariket Kahraba Terga (SKT).*

3. Le transformateur électrique. *https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/comprendre-le-marche-de-l-energie/le-transformateur-electrique-piece-maitresse-du-reseau.* [En ligne]

4. Analyse de défaillance du transformateur de puissance. *http://dspace.univ-ghardaia.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/386/11-%D9%83%D8%B1%D9%83%D8%A7%D8%B1%2B%D8%AD%D9%85%D9%88%D8%AF%D8%A9.pdf?sequence=2&isAllowed=y.* [En ligne]

5. Journal officiel de la république algérienne. *https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/decret_10-138_(2)_5b68409b91de2.pdf.* [En ligne]

6. *Bouhafer Yasser et Elaihar Sidi Hamza (étude du transformateur de puissance 6.6KV/420V de l'unité industrielle AQS (Algerian Qatari Steel), année 2020 /2021.*

7. Les risques liés aux transformateurs de puissance. *https://www.gmtinternational.fr/blog/-gerer-efficacement-les-risques-lies-aux-transformateurs-electriques-n11.* [En ligne]

8. Les champs électriques et magnétiques et la santé. *file:///C:/Users/HP/Downloads/DA13.pdf.* [En ligne]

9. Les accidents des transformateurs de puissance. *https://www.seamarconi.com/fr/autre/accident-avec-explosion-et-incendie-dun-transformateur-a-huile-en-turquie-plus-de-200-morts-et-300-disparus/ https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/42508/.* [En ligne]

10. Evaluation des risques. *https://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/risk_assessment.html.* [En ligne]

11. L'arbre de défaillance. *https://www.previnfo.net/sections.php?op=viewarticle&artid=40.* [En ligne]

12. Optimisation de la maintenance préventive d'un transformateur de puissance. *http://dspace.univ-ghardaia.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/386/11-%D9%83%D8%B1%D9%83%D8%A7%D8%B1%2B%D8%AD%D9%85%D9%88%D8%AF%D8%A9.pdf?sequence=2&isAllowed=y.* [En ligne]

13. https://www.gt-engineering.it/fr/approfondissement/securite-des-procedes/securite-fonctionnelle-calcul-du-pfd-1-ere-partie/le-taux-de-defaillance-%CE%BB/. [En ligne]

14. **Sanchez, Jean.** Aide au diagnostic de défauts des transformateurs de. *https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01017179/document.* [En ligne] 2011.

15. Thèse d'analyse des stratégies de maintenance des systèmes de production industrielle. *http://dspace.univ-usto.dz/bitstream/123456789/232/1/these_doctorat_benaicha.pdf.* [En ligne] 2015.

16. Application de la méthode AMDEC sur une machine clé en service. *file:///C:/Users/HP/Downloads/BELAID%20OKBA&KADRI%20MOHAMMED%20LAKHDAR(1).pdf.* [En ligne]

17. Méthodologie de diagnostic de défaillances des transformateurs de puissances au niveau de la GRTE. *http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/8028/1/M%C3%A9moire%20de%20fin%20d%E2%80%99%C3%A9tude.pdf.* [En ligne]

18. L'énergie électrique. *https://energie-nucleaire.net/energie/energie-electrique/importance-de-l-energie-electrique.* [En ligne]

19. Le poste de transformation. *https://de.cdn-website.com/abbc41f070ba455ea13348c5e49d7b24/files/uploaded/Transformation%2520%25C3%25A9lectriques.pdf.* [En ligne]

..