



Projet de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de
Licence Professionnelle
Présenté au Département de Génie Appliqué

Domaine : Sciences et Technologie

Spécialité : Mesures, Métrologie et Qualité

Réalisé par :

❖ **GABANI Asma Dat Nitakin**

❖ **SERKOU Aroua Oum el-baha**

Thème :

Analyse d'huile d'un transformateur de puissance
Analyse d'huile d'un transformateur de puissance

Soutenu le 14 /06/2022 devant la commission d'examen composée de :

M.MECHRI Mohammed Laid	MCB à l'Université de Ouargla	Président
M. MAHBOUB Mohamed Abdelbasset	MCB à l'Université de Ouargla	Directeur du Mémoire
M. ROUBAH Boubakere	MCB à l'Université de Ouargla	Examineur

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma chère mère

A mon très cher père

Pour leur encouragement, soutien, et surtout

Pour leur amour et sacrifice pour que rien

N'entrave le déroulement de mes études

A mes chères sœurs et à mes chers frères

A Mes amis

A tous ceux qui utilisent la science pour

Le bonheur et la prospérité de l'humanité

GABANI Asma.

Je dédié ce travail à :

A celui à qui dieu a confié prestige et révérence, a celui qui m'a appris à donner sans attendre, a celui dont je porte le nom avec orgueil, je demande à dieu de prolonger votre vie, pour voir des fruits qui viennent d'être récoltés après une longue attente mon cher père.

A mon ange dans la vie, aux sens de l'amour et de la tendresse, a l'œil qui veillait inlassablement ou s'ennuyait pour moi, le sourire de ma vie est le secret de mon existence, à qui sa prière était mes succès, sa tendresse est le baume de mes blessures, à la plus aimée ma chère mère.

A qui je vois l'optimisme dans leur sourire mon frère et ma sœur

A toute ma famille et mes amis et a tous ceux qui m'ont soutenu, et ont été la raison de mon succès après dieu tout puissant

SERKOU Aroua

Remerciements

*Loué soit Dieu... Dieu, le Plus Miséricordieux, le Plus Miséricordieux, qui nous a donné la volonté, le courage, la force et la patience pour pouvoir traverser les moments les plus difficiles... et nous a aidé à surmonter également tous les obstacles, nous permettant d'achever cet humble travail. La construction de cette mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention consciente d'un grand nombre de personnes. Puissent-ils trouver ici l'expression de notre plus sincère gratitude. La première personne que nous tenons remercier est notre encadrant **Mr. MAHBOUB Mohamed Abdelbasset** pour l'encadrement, et la confiance et la patience qui ont constitué une grande contribution sans laquelle ce travail n'aurait pu être mené à bien. Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au personnel enseignant et administratif de l'Institut de technologie, Je tiens également à remercier **Mr ZIGHMI HOUSSIN**, notre encadrant à la Société de production d'électricité HMN3 pour leur aide dans ce travail, et nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail.*

GABANI Asma

SERKOU Aroua

ملخص

تعتمد أنظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بشكل أساسي على محولات الطاقة ، والتي تشكل أحد أعلى العناصر . لذلك من الضروري أن تعمل بشكل صحيح لسنوات عديدة . تمتلئ معظم محولات الطاقة حول العالم بالسوائل العازلة ، وبفضل خصائصها الحرارية الجيدة ، تضمن هذه السوائل كلاً من العزل الكهربائي والحراري ، الزيت المعدني هو السائل الأكثر استخداماً في محولات الطاقة من ناحية لخصائصه الفيزيائية والكيميائية و القيام بتحليل هذه الزيوت يساعد في صيانة المحولات .

الكلمات المفتاحية : محولات الطاقة ، السوائل العازلة ، العزل الكهربائي والحراري .

Résumé

Les systèmes de transport et de distribution de l'énergie électrique reposent essentiellement sur les transformateurs de puissance qui constituent l'un des éléments les plus coûteux . Il est donc nécessaire qu'ils fonctionnent correctement durant de nombreuses années . La plupart des transformateurs de puissance à travers le monde sont remplis avec des liquides isolants . Grâce à leurs bonnes propriétés thermiques , ces liquides permettent d'assurer aussi bien l'isolation électrique et thermique . L'huile minérale est le liquide le plus utilisé dans les transformateurs de puissance , d'une part pour ses propriétés physico – chimiques et thermique les analyses de ces huiles aide à maintenir les transformateurs .

Mots-clés : les transformateurs de puissances , les liquides isolants , isolation électrique et thermique .

Abstract

Electrical power transmission and distribution systems rely mainly on power transformers , which constitute one of the most expensive components. So it is essential that it function properly for many years. Most power transformers around the world are filled with insulating fluids, and thanks to their good thermal properties, these fluids ensure both electrical insulation and thermal , Mineral oil is the most used fluid in power transformers in terms of its physical and chemical properties , and conducting analyzes of these oils helps in the maintenance of transformers.

Keywords : power transformer , insulating fluids , electrical insulation and thermal .

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Chapitre 01</i>	
PRESENTATION DE LA CENTRALE DE HMN3	3
1.1. Introduction	3
1.2. Présentation générale de la SPE.....	3
1.2.1. Histoire de la société de production d'électricité	5
1.3. Présentation du projet de la nouvelle centrale de (HMN3).....	7
1.3.1. L'apport de l'ouvrage.....	7
1.3.2. Constitution de l'ouvrage et dates de mise en service.....	8
1.3.3. L'Organigramme de HMN3.....	9
1.4. Conclusion	10
<i>Chapitre 02</i>	
GENERALITE SUR LES TRANSFORMATEUR	12
2.1. Introduction	12
2.2. Invention	12
2.3. Définition de transformateur	13
2.4. Constitution.....	13
2.5. Principe de fonctionnement	15
2.5.1. Le transformateur idéal.....	16
2.6. Les caractéristiques	16
2.7. Classification.....	17
2.8. Normes pour transformateur.....	17
2.9. Système d'isolation.....	18
2.9.1. Isolation papier	18
2.9.2. Huile.....	18
2.10. Système de refroidissement.....	19
2.10.1. les mode de refroidissements.....	20
2.11. Système de protection.....	21
2.11.1. Les défauts externes.....	22

2.11.2. Les défauts internes	22
2.11.3. Protection interne	22
2.11.4. Protection externe.....	24
2.12. Conclusion.....	25

Chapitre 03

LES ANALYSE D’HUILE DE TRANSFORMATEUR.....	27
3.1. Introduction.....	27
3.2. Les type d'huile de transformateur.....	27
3.2.1. Les huiles minérales.....	27
3.2.2. Les huiles de silicone	27
3.2.3. Les PCB (Polychlorobiphényles).....	27
3.2.4. Les huiles végétales.....	28
3.3. Les bases pour choisir l'huile de transformateur.....	28
3.4. Classification des huiles de transformateur	28
3.5. Les propriété d'huile	28
3.5.1. Physique et chimique.....	28
3.5.2. Electrique	29
3.6. Prélèvement des échantillonnages huiles pour analyse Physico-Chimiques	30
3.6.1. Préparation de l'outil d'échantillonnage	30
3.6.2. Procédure	31
3.7. Les analyses d'huile d'un transformateur de puissance.....	32
3.7.1. L'inspection visuelle.....	32
3.7.2. Couleur (ASTMD-1500).....	33
3.7.3. La tension de claquage (ASTMD-1816).....	35
3.7.4. Point d'éclair (norme ASTM D93)	36
3.7.5. Teneur en eau (CEI 60814 et NF C 27222/CEI 422).....	38
3.7.6. Perte diélectrique (CEI 247).....	39
3.7.7. La densité (NF ISO 279).....	40
3.7.8. Acidité (NF T 60-112 et CEI 422 / NF C 27 222).....	41
3.7.9. Résultats des analyse d'huile de TS01	43
3.7.10. Les résultats des analyse d'huile de TP 1	44
3.8. Conclusion	45
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES.....	46

Liste des figures

FIGURE I.1: ORGANIGRAMME DE SPE [1]	4
FIGURE I.2: LA PREMIERE CENTRALE THERMIQUE DE MARSA EL KABIR –ORAN [2].....	5
FIGURE I.3: CENTRALE EL HAMMA D’UNE PUISSANCE INSTALLE DE 64 MW [2]	5
FIGURE I.4: CENTRALE D’ALGER PORT D’UNE PUISSANCE INSTALLE [2].....	6
FIGURE I.5: CENTRALE ELECTRIQUE HMN3	7
FIGURE I.6 : TROIS GROUPES TURBINE GAZ	8
FIGURE I.7: L’ORGANIGRAMME DE L’UNITE DE HMN3.....	9
FIGURE II.1: INDUCTION MAGNETIQUE ENTRE DEUX BOBINES	12
FIGURE II.2: TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE [5]	13
FIGURE II.3: LES COMPOSANTS DU TRANSFORMATEUR.....	15
FIGURE II.4: FLUX MAGNETIQUE ENTRE DEUX BOBINES [3]	16
FIGURE II.5: L’ISOLATION DE TRANSFORMATEUR	19
FIGURE II.6: RELAIS BUCHHOLZ [5]	23
FIGURE II.7: DGPT [6]	23
FIGURE II.8: LES PARAFONDRE [7]	24
FIGURE II.9: LES ECLATEURS [8]	24
FIGURE III.1: LAVE DES BOUTEILLES AVEC L’EAU CHAUD.....	30
FIGURE III.2: LA VANNE D’ECHANTILLONNAGE	32
FIGURE III.3:LES BOUTEILLE D’ECHANTILLONNAGE	32
FIGURE III.4: les COULEURS D’HUILE	33
FIGURE III.5: APPAREIL DE MESURE DE LA COULEUR [10]	34
FIGURE III.6: L’APPAREIL DE SPINTEMETRE MEGGER.....	35
FIGURE III.7: APPAREIL DE MESURE DU POINT D’ECLAIRE	37
FIGURE III.8: APPAREIL DE MESURE DE LA TENEUR EN EAU [10]	38
FIGURE III.9: APPAREIL DE MESURE DES PERTES DIELECTRIQUE [10]	40
FIGURE III.10: DENSIMETRE [10]	41

Liste Des Tableaux

TABLEAU II. 1: CLASSIFICATION DES TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE [4]	17
TABLEAU II.2 : SYMBOLE DE REFROIDISSEMENT [4]	20
TABLEAU III.1: LES INFORMATION RELATIVES A L'ECHANTILLON D'HUILE	31
TABLEAU III.2: LES CODES DES COULEURS	34
TABLEAU III.3: RESULTATS DES ANALYSE D'HUILE DE TS01	43
TABLEAU III.4: RESULTATS DES ANALYSE D'HUILE DE TP01	44

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

Abréviations

AF: AIR FORCED...	20
AN : AIR NATUREL.....	20
ASTMD:AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.....	35
CEI:COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE.....	39
DGPT:DETECTEUR GAZ ,PRESSION , ET TEMPERATURE.....	23
FEM: FORCE ELECTROMOTRANCE.....	15
HMN : HASSI MRSSAOUD NORD 03.....	06
HSE : HEGYEN SECURITE ENVIRONEMENT.....	08
ISO : ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION.....	41
KV: KILO VOLT AMPERE.....	16
TG: TURBINE A GAZ.....	16
MVA: MEGA VOLT AMPERE.....	16
NF : NORME FRANCAISE.....	40
ODAF: OIL DIRECTED AIR FORCED.....	21
OFAF : OIL FORCED AIR FORCED.....	21
ONAF : OIL NATURAL AIR FORCED.....	21
ONAN : OIL NATURAL AIR NATURAL.....	21
PCB:POLYCHLOROBIPHENYLES.....	28
TP : TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE.....	42
TS : TRANSFORMATEUR DE SOUTIRAGE.....	43

les symboles

<i>A</i> :volume (mm) de solution de sel de potassium utilisé dans le teste.....	41
<i>N</i> :Normalitéde lasolution de sel de potassium.....	41
<i>M</i> :Masse de la prise d'essai engrammes de la prise d'essai.....	4

INTRODUCTION GENERALE

Le transformateur de puissance est un dispositif importance dans le réseau électrique Sa manque de fiabilité affecte non seulement la disponibilité de l'énergie l'électricité, mais aussi entraîner des pertes techniques et économiques, donc Les défauts potentiels doivent être détectés et identifiés à un stade précoce éventuelles mesures préventives.

Lors d'un défaut ou d'une panne, l'intégrité mécanique, diélectrique et thermique du transformateur est souvent compromise, Les défaillances latentes évoluent dans le temps et entraînent des perforations de l'isolant par différentes causes, telles que surtension électrique (transitoire, opérationnelle). Donc L'évaluation de l'état du transformateur effectuée en effectuant des diagnostics. Le véhicule principal pour évaluer l'état d'un transformateur fourni par l'analyse de son huile, où la plupart des informations recueillies sont fournies et utilisées pour les actions de maintenance.

L'analyse de l'huile inscrit dans la philosophie de la maintenance conditionnelle, est un outil des surveillances préventive très efficace pour prédire l'état et les défauts parvenir durant exploitation de transformateur.

Le but de notre travail est d'applique les analyses d'huile et les machines utilisées dans ces analyses et de savoir comment ces analyses contribuent au maintien de l'intégrité du transformateur .

Ce mémoire est composé de trois chapitres

Dans le premier chapitre : nous avons donné une présentation générale de centrale électrique de Hassi Messaoud (HMN3) et leur organisation.

Dans le deuxième chapitre : nous avons donné des généralités sur les transformateurs de puissance tels que les différents éléments qui constituent cette machine et leur principe de fonctionnement.

Dans le troisième chapitre : nous passons à l'analyse de l'huile de transformateur de puissance, donc nous savons que la méthode de travail et l'objectif.

Chapitre 01

PRESENTATION DE LA CENTRALE DE HMN3

1.1. Introduction :

La Société Nationale d'Electricité et de Gaz ou SONELGAZ est une société cotée algérienne dont le domaine de production, le transport et la distribution d'énergie, dont la nouvelle Loi Fondamentale lui permet d'intervenir dans d'autres secteurs d'activité importants pour l'entreprise, notamment dans le ventes externes d'électricité et de gaz naturel sur le terrain.

- Électricité dans un réseau interconnecté de quatre pôles (Nord, Sud, Est, Ouest) à 50Hz.

1.2. Présentation générale de la SPE :

La SPE est une société responsable de la production l'électricité en Algérie, à partir des sources thermiques et hydrauliques répondant aux exigences de disponibilité, fiabilité, sécurité et protection de l'environnement. Elle est également chargée de commercialiser l'électricité produite. SPE, met en œuvre un vaste programme de réhabilitation et de renouvellement de son parc de production pour conserver le niveau actuel de capacité de production. Elle ambitionne de demeurer l'opérateur dominant en matière de fourniture de l'énergie électrique. Son programme de développement est orienté vers l'augmentation de la disponibilité et la fiabilité des groupes de production, L'organigramme de SPE. [1]

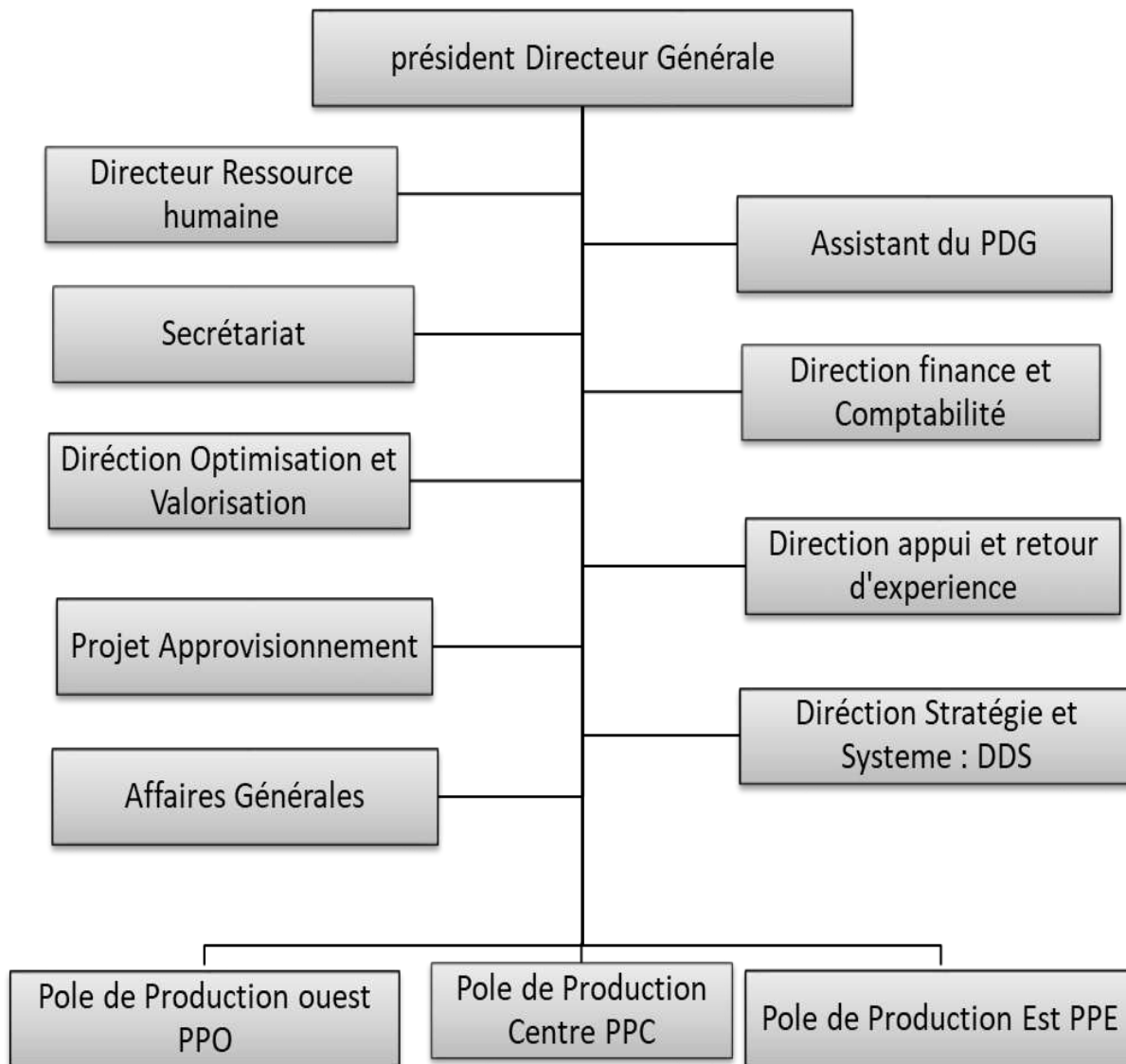


Figure I.1: Organigramme de SPE [1]

1.2.1. Histoire de la société de production d'électricité

1910 : La première centrale hydroélectrique de 4,2 MW est mise en service dans les gorges de RUME le à Constantine .

1913 : canyon blanc Intégration de la filière énergie thermique vapeur avec la mise en service de la première centrale thermique vapeur au charbon d'une capacité installée de 22MW à Mers El KEBIR à Oran - TV dans le parc de production [2].



Figure I.2: la première centrale thermique de MARSA EL KABIR –Oran [2]

1914 - 1920 Développement significatif de l'industrie de la télévision au charbon, trois bâtiments mis en service Centrale El HAMMA d'une capacité installée de 64MW Centrale électrique du port d'Alger d'une capacité installée de 34 MW Capacité installée de la centrale d'Annaba de 58 MW ELHAMMA -ALGER port ANNABA



Figure I.3: centrale EL HAMMA d'une puissance installé de 64 MW [2]



Figure I.4 : centrale d'ALGER port d'une puissance installé [2]

1950-1963 salade Développement significatif dans le secteur de l'eau TH, mise en service de 9 ouvrages totalisant 208 MW .

1960 Consolidation de l'industrie des turbines à gaz avec la mise en service de la première turbine à gaz TG d'une capacité installée de 22MW en Algérie (Haoud El Hamra)

1962 : Production d'électricité assurée par Electricité Gaz, Algérie, avec une puissance installée de 548 MW 1969 : Création de SONELGAZ par décret n° 6959 de juillet 1969, les activités de production d'électricité sont incluses dans ce dernier

1970-1979 : Développement du parc de production, production basée sur les turbines à vapeur.

1980-1995 : Introduction des paliers TG 100 MW et des paliers TV 169-196 MW 1995 : Introduction des roulements TG de 100 MW à 215 MW .

2008-2009 : La relance du parc de production a vu la mise en service de sept (07) nouvelles centrales électriques à turbine à gaz d'une capacité totale de 1 924 MW en conditions in situ.

2009 : Rebaptisée : Société de production d'électricité SPE.spa devient Société Algérienne de Production d'Electricité, dénommée SPE. Spa, au capital de 35 milliards de dinars, dont le siège social est à Gué de Constantine, Immeuble 700, Route Nationale 38, Quba, Alger.

2010-2013 : Introduction des turbines à gaz mobiles dans le parc de production et mise en service de quarante et une (41) unités d'une capacité totale de 770 MW. En avril 2013, par

scission des actifs de SPE, une filiale de production d'électricité appelée SKTM a été créée.

2014-2015 : Quarante-six (46) nouvelles turbines à gaz d'une puissance totale de 2 054 MW ont été mises en service en continu dans les conditions de terrain (08 TG fixes d'une puissance totale de 1 299 MW et 38 TG mobiles d'une puissance totale de 755 MW).

2016-2017 : Mise en service de neuf (09) nouvelles turbines à gaz stationnaires totalisant 1 938 MW en conditions de terrain.

2018-2021 : Introduction du cycle combiné, technologie répondant aux normes d'efficacité énergétique et respectueuse de l'environnement, dans le parc de production SPE.

1.3. Présentation du projet de la nouvelle centrale de (HMN3)

La nouvelle centrale électrique de Hassi Messaoud (HMN3) d'une capacité au niveau de la centrale de 660,94 MW (3 x MW dans les conditions du site) est implantée sur la route Nationale N°3 à environ 13 km au nord-ouest de Hassi Messaoud, il couvrant 15 hectares.



Figure I.5: Centrale électrique HMN3

1.3.1. L'apport de l'ouvrage

La nouvelle centrale électrique de Hassi Messaoud (HMN3) a été créée, dans le cadre du programme de 4 000 MW, et est conçue pour répondre aux exigences suivantes :

- ✓ Développement du pétrole à Hassi Messaoud et du pôle semi-pétrolier
- ✓ Renforcer la sécurité de l'approvisionnement en électricité dans la région
- ✓ Assurer la fiabilité et une meilleure qualité de service pour les clients
- ✓ Fournir une copie de sauvegarde au réseau national interconnecté.

1.3.2. Constitution de l'ouvrage et dates de mise en service

La structure est constituée de 3 unités de turbines à gaz d'une puissance unitaire de 220,31 MW, de type V94.3A, du constructeur ANSALDO ENERGIA (Italie) et elle est constituée notamment de :

- ✓ Turbines type V94.3A4
- ✓ Alternateurs et auxiliaires et système de réfrigération ;
- ✓ Transformateurs et leurs auxiliaires
- ✓ Poste d'Evacuation électrique
- ✓ Système protection et détection incendie



Figure I.6: Trois groupes turbine gaz

1.3.3. L'Organigramme de HMN3

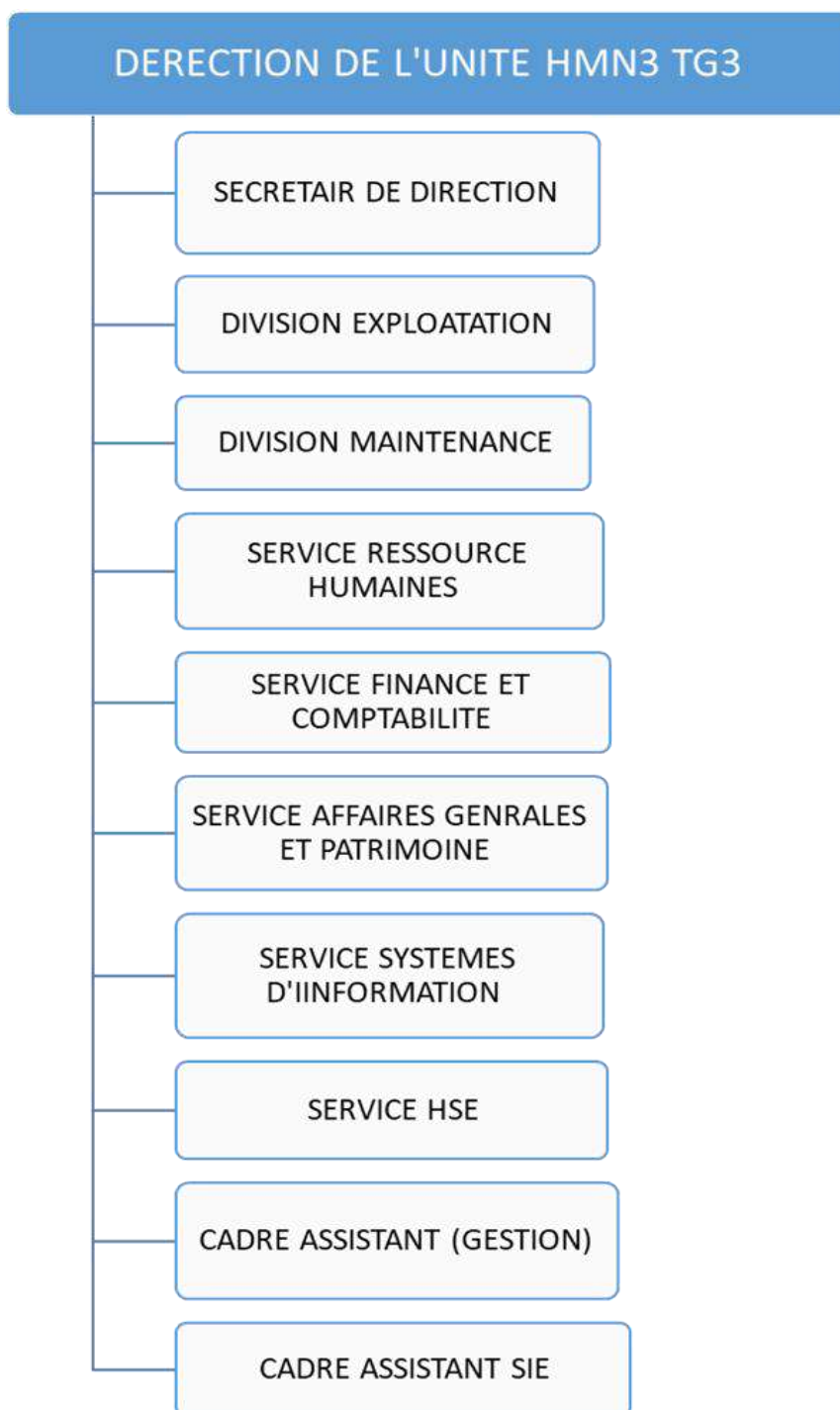


Figure I.7: L’organigramme de l’unité de HMN3

1.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu une présentation générale sur la Société Nationale d'Electricité et de Gaz (SONELGAZ) ,et la société responsable de la production l'électricité en Algérie (SPE) après, on a vu une description de la nouvelle centrale électrique de Hassi Messaoud (HMN3) cette centrale a été créé, dans le cadre du programme de 4 000 MW et est conçue pour répondre aux exigences de développement du pétrole à Hassi Messaoud et renforcer la sécurité de l'approvisionnement en électricité dans la région.

Chapitre 02

GENERALITE SUR LES TRANSFORMATEUR

2.1. Introduction :

Dans des plusieurs applications industrielles, il est important de modifier la représentation de l'énergie électrique. Lors que cette modification consiste à convertir la valeur efficace du courant ou de la tension à une fréquence constante, on utilise généralement un transformateur.

Les transformateurs existent à tous les niveaux du système de production l'énergie électrique jusqu'à l'utilisation. Par conséquent, l'indisponibilité de ces appareils saura un impact sérieux sur le processus d'approvisionnement en énergie électrique, donc assurer sa disponibilité est un défi majeur pour toutes les institutions du secteur de l'énergie électrique, la mise en œuvre de maintenance et d'activités préventives, font partie intégrante des actions utilisées pour assurer la disponibilité des transformateurs.

2.2. Invention

En 1831, Michael Faraday découvre le phénomène d'induction magnétique mutuelle entre deux bobines séparées monté sur un noyau en matériau, Ce phénomène a été utilisé en 1876 pour concevoir un transformateur qui fonctionne sur le principe de l'induction mutuelle entre deux bobines.

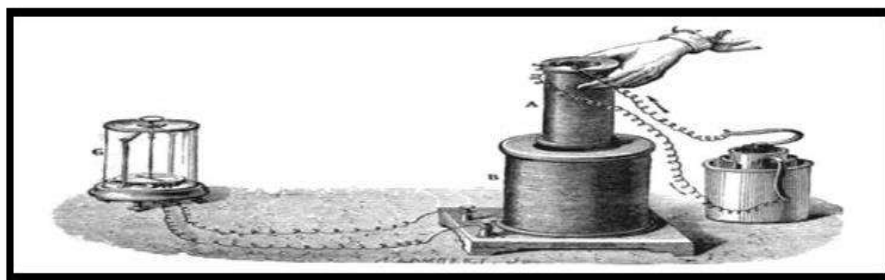


Figure II.1: induction magnétique entre deux bobines

Et en 1882 apparaissent des transformateurs constitués d'un enroulement primaire et de plusieurs enroulements secondaires afin d'obtenir des valeurs différentes pour les tensions secondaires, et en 1883 les transformateurs sont entrés dans l'industrie de l'énergie électrique

En 1884 Les frères John et Edward Hopkins on ont fabriqué un simple transformateur avec son noyau en tôle d'acier isolée et à partir de deux enroulements, un pour la basse tension et l'autre pour la haute tension , Pour l'utilisation de transformateurs dans la conversion de l'énergie électrique en haute tension et sa transmission sur de longues , distances, et après sa le russe donné le nom de transformateur puis il a inventé l'idée de connecter des transformateurs en parallèle et en 1889 le russe Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski construit le premier transformateur triphasé.

2.3. Définition de transformateur :

Le transformateur de puissance est un machine électromagnétique statique qui transformer un courant et tension alternatifs en un autre courant et tension alternatifs de même fréquence et d'amplitudes différent. Il permet de réduire les pertes joule en ligne, il assure le transport de l'énergie à longue distance à haute et basse tension puis abaisse cette tension, pour l'alimentation des réseaux de distribution et tension d'alimentation domestique.



Figure II.2.: transformateur de puissance [5]

2.4. Constitution :

Le transformateur est composé de plusieurs parties qui fonctionnent de manière différente Ceux-ci comprennent :

- **Le noyau magnétique** : Le noyau magnétique est la partie la plus importante dans le transformateur, sur lequel sont enroulés les bobinages. Il est fabriqué en fer doux pour réduire la perte de courant de Foucault et la perte d'hystérésis, et fournit un chemin à faible réluctance au flux magnétique.
- **Les enroulements** : Les transformateurs ont deux enroulements, l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire. L'enroulement primaire est la bobine qui tire son énergie de la source. L'enroulement secondaire est la bobine qui fournit l'énergie à la tension transformée ou modifiée à la charge. Habituellement, ces deux bobines sont subdivisées en plusieurs bobines afin de réduire la création de flux.
- **Réservoir principale** : Il est fait de fer non magnétique et la forme du réservoir varie en fonction de la capacité du transformateur. Il peut contenir des gaines (tuyaux) pour extraire et refroidir l'huile puis la restituer à des débits élevés. Le bol est installé sur une base qui fonctionne sur roulettes afin de faciliter le transport de l'adaptateur.
- **Le conservateur d'huile** : est positionné sur le dessus du transformateur. Il agit comme un réservoir d'expansion pour l'huile d'expansion pour l'huile. Les changements de température de l'huile impliquent un changement de volume. Le conservateur d'huile permet des changements de niveau d'huile sans affecter la pression dans le transformateur, Dans certains cas, le conservateur contient une poche souple ; elle empêche l'huile d'entrer en contact avec l'air ambiant.
- **La cuve** : constituée de feuille d'acier, elle protège les bobines des transformateurs et économise leur huile et répartit la température générée par les différentes pertes de transformateurs.
- **L'huile de transformateur** : L'huile de transformateur ou l'huile isolante est une huile stable à haute température et qui possède d'excellentes propriétés d'isolation électrique. Elle est utilisée dans les transformateurs remplis d'huile, certains types de condensateurs haute tension .
- **Les traversées isolantes basse tension et haute tension** : isolées avec du papier imprégné d'huile et de porcelaine, Certains sont immergés, surtout pour les très hautes tensions, certains sont secs, elles permettent la transmission de puissance.
- **Le radiateur** : Le radiateur est une banque de conduites creuses qui est utilisée pour transférer l'énergie thermique d'un milieu à un autre à des fins de refroidissement. Certaines banques sont utilisées au niveau du transformateur de puissance pour

refroidir l'huile du transformateur et réduire la température de l'enroulement dans des conditions de charge.

- **Silice jale** : Un sel bleu cristallin dont le rôle est d'absorber l'humidité de l'air atmosphérique entrant dans le réservoir de réserve pour protéger l'huile du transformateur.

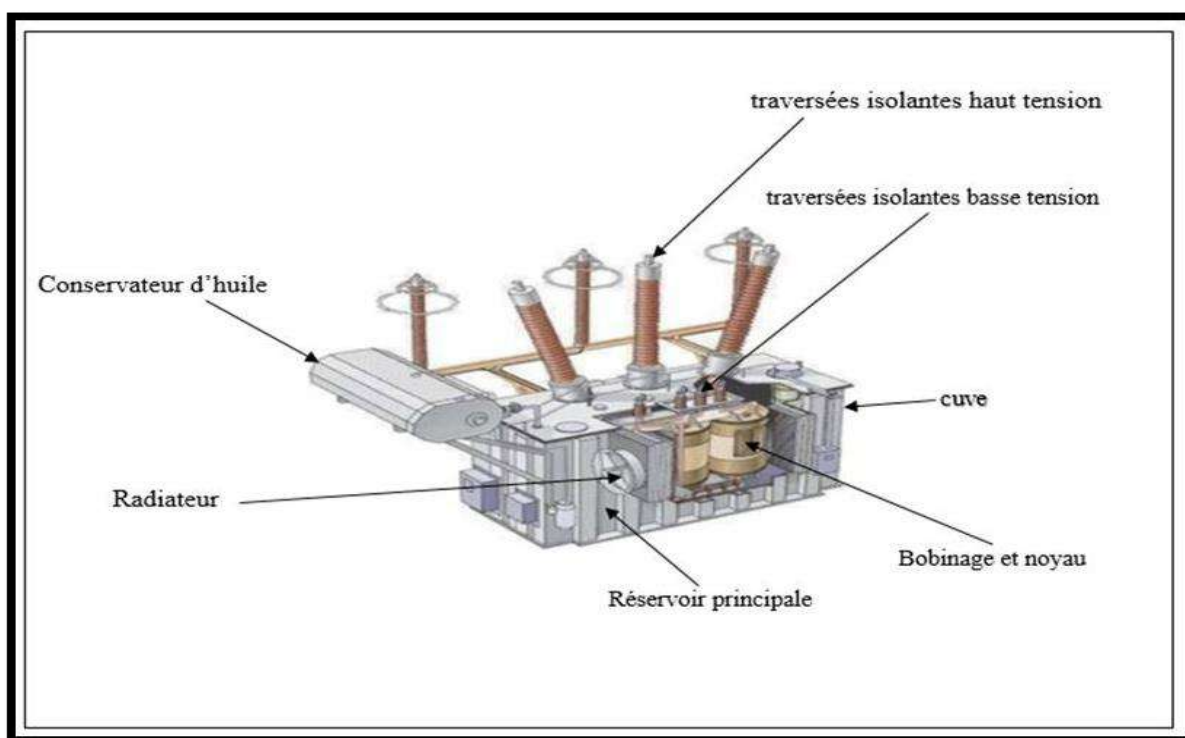


Figure II.3: Les composants du transformateur

2.5. Principe de fonctionnement

Le transformateur se comprend de deux enroulements ou plus monté sur un noyau, "enroulements primaire " compose de N_1 spire set " enroulements secondaire " de N_2 spires, quand le courant alternative passe dans l'enroulement primaire du transformateur, un flux magnétique génère dans le noyau, ce flux crée une force électromotrice (FEM) dans l'enroulement secondaire aux bornes du quel apparait un courant I_2 . [3]

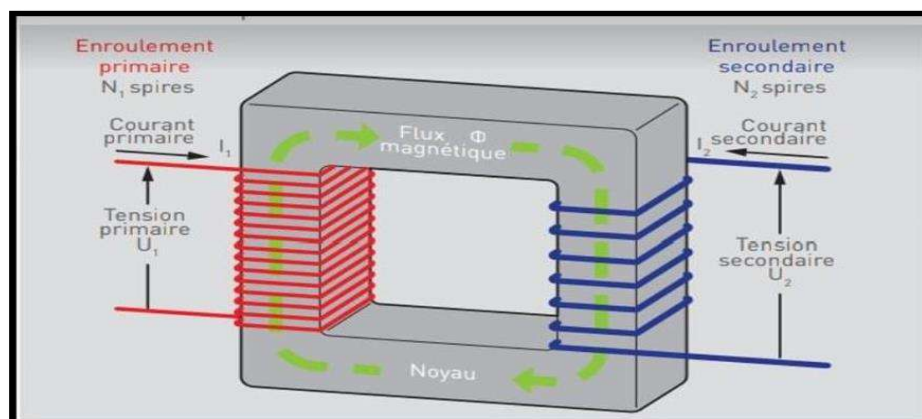


Figure II.4: flux magnétique entre deux bobines [3]

2.5.1. Le transformateur idéal

Le transformateur idéal ou parfait est un transformateur imaginaire sans des pertes (les pertes par effet joule dans les enroulements, pertes dans le circuit magnétique...etc.), dans ce transformateur la puissance des sortie égale à la puissance d'entrée, Et on efficacité considérée comme 100%.

2.6. Les caractéristiques :

Le transformateur possède des caractéristiques suivantes :

- La puissance nominale : exprimé par la puissance apparente en Volt Ampère (VA) ou (KVA) Retenir un mot-clé et étudier la dérive associée ;
- Le rapport de transformation : est défini comme le rapport de la tension de sortie à la tension d'entrée du transformateur. ;
- Les pertes qui se produisent dans les transformateurs sont inférieures à celles des autres appareils électriques ;
- Le rapport entre la tension de sortie à vide et en charge ;
- Le rendement : c'est le rapport de la puissance sortie sur la puissance entrée ;

2.7. Classification

Le tableau suivant montre la classification de transformateur selon des critères :

Tableau II.1: classification des transformateurs de puissance [4]

Les critters de classification	Type des transformation
•Utilisation (application)	Elévateur de tension (Sortie de centrale) ;
	Abaisseur de tension (Distribution)
	Autotransformateur
• Systems d'enroulements	Deux enroulements
	Trois enroulements
	Autotransformateur
• Matériaux du noyau	Acier à grains orientés
	Alliages amorphes.
• Forme du circuit magnétique	à noyau
	A coque
• Contexte d'utilisation	Réseaux électriques (transport, distribution , production)
	Applications industrielles (stations ferroviaires,
• Type d'installation	Intérieur (cabine)
	Extérieure (poteau)

2.8. Normes pour transformateur :

Une norme est une façon convenue de faire quelque chose. Cela peut concerner la fabrication d'un produit, la fourniture d'un service ou d'un équipement, a gestion d'un processus , Les normes peuvent également contenir des critères de recommandation pour l'utilisation de certaines substances, Parmi les normes liées aux transformateurs, on retrouve :

- Norme CEI 60076 : préconise plusieurs critères pour les transformateurs
- Norme CEI 726 : traitant les transformateurs de type sec.
- Norme NFC 52 100 : Transformateurs de puissance.
- Norme NFC 52 112-4 : Transformateur triphasé de distribution publique.
- Norme NFC 11-201 Réseaux de distribution publique d'énergie électrique.
- Norme NFC 11-201 : Réseau de distribution publique l'énergie électrique

2.9. Système d'isolation :

La plupart des transformateurs est composée de deux types d'isolation :

2.9.1. Isolation papier :

En réalisée l'isolation papier à l'aide de couches de papier superposées, il est imprégné par l'huile puis séchées, alors Les papier atteignent une rigidité diélectrique élevée et faibles pertes diélectriques, en note que le Papier imprégné avec l'huile à de meilleures propriétés diélectriques que le papier ou l'huile seuls, Cette isolation est placée dans le transformateur entre les enroulements et la cuve. L'isolant en papier a la Caractéristique de pouvoir absorber beaucoup d'humidité. Cela augmente son enflure et réduit ses propriétés diélectriques. Par conséquent, le matériau isolant doit être séché avant d'être placé dans le réservoir.

2.9.2. Huile :

Huile isolante ou L'huile de transformateur est une huile stable à haute température et qui possède d'excellentes propriétés d'isolation électrique. Il est utilisé dans les transformateurs remplis d'huile, certains types de condensateurs haute tension, Ses fonctions sont d'isoler et comme un liquide de refroidissement.

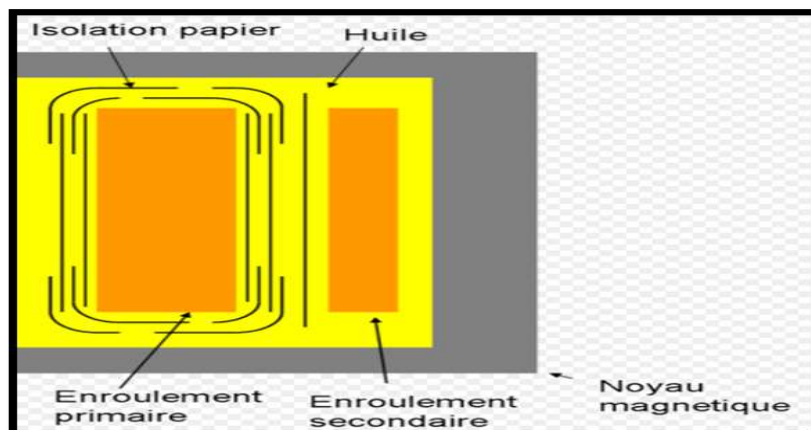


Figure II.5 : L'isolation de transformateur

2.10. Système de refroidissement :

Lorsque la température du transformateur augmente continuellement, cela détériorera l'isolation utilisée dans le transformateur, ce qui endommagera les différentes pièces, et la défaillance du transformateur, donc un traitement approprié de la chaleur est nécessaire, assurant une durée de vie plus longue et une plus grande efficacité du transformateur.

Les différents refroidissements utilisés dans le but de refroidir le transformateur sont l'air, l'huile synthétique, l'huile minérale, le gaz et l'eau. [4]

Le refroidissement est symbole sur les transformateurs par des lettres qui indique dans le tableau :

Tableau II.2: symbole de refroidissement [4]

Lettre	Mode de refroidissement
O	Huile minérale
L	Askarel
K	Fluide alternatifs
G	Gaz
W	Eau
A	Air
S	Isolant solide
Lettre	Nature de circulation
N	Naturelle
F	Forcée
D	Forcée et dirigée dans les enroulements

2.10.1. les mode de refroidissements :

❖ AN (Aire Natural)

Par l'air naturel, le chaleur générée dans le transformateur est refroidie par circulation d'air naturelle, lorsque la température du transformateur devient plus élevée par rapport à la température de l'air ambiant, ainsi par le processus de convection naturelle, l'air chaud est remplacé par de l'air froid, cette méthode est également connue sous le nom de méthode de refroidissement.

❖ AF (Air Forced)

Dans cette méthode, la chaleur générée est refroidie par la méthode de circulation d'air forcée. À l'aide de ventilateurs et, la vitesse élevée de l'air est forcée sur le noyau et l'enroulement du transformateur. Étant donné que la température à l'intérieur de l'onduleur dépasse le niveau de sécurité standard, l'alarme est activée et les ventilateurs et soufflantes

fonctionnent automatiquement.

❖ **ONAN (Oil Natural Air Natural)**

Le processus de convection naturelle est utilisé pour ce type de refroidissement, de sorte que l'ensemble noyau et bobine est placé dans le réservoir immergé dans l'huile, le noyau et les enroulements sont chauffés, la température de l'huile dans le transformateur augmente et, par conséquent, l'huile monte. Et s'écoule du haut de la cuve du transformateur, cette huile fonctionne Chaude dissipe la chaleur dans l'air par convection naturelle et processus de conduction, l'huile est refroidie par circulation d'air naturelle et traverse à nouveau le liquide de refroidissement pour l'utilisation du transformateur.

❖ **ONAF (Oil Natural Air Forced)**

Une circulation forcée de l'air à l'aide de ventilateurs, tandis que l'huile se déplace sous l'influence des courants de convection naturelle. Par conséquent, le refroidissement se fait par l'air appliqué, qui est appliqué au corps du conteneur principal du transformateur avec un ensemble de ventilateurs pour pousser l'air, qui sont 4 ventilateurs par transformateur fonctionnent à une pression constante pour refroidir le transformateur.

❖ **OFAF (Oil Forced Air Forced)**

Dans ce mode, le débit d'huile est forcé par des pompes et des ventilateurs sont installés sur les radiateurs, qui forcent le débit d'air afin de mieux dissiper la chaleur.

❖ **ODAF (Oil Directed Air Forced)**

Cette méthode est utilisée pour les transformateurs de très forte puissance. Les refroidisseurs sont des tubes en aluminium avec des tubes en cuivre spécialement fabriqués, L'huile est pompée par le haut par une motopompe pour passer dans les tubes et refroidie par l'air des ventilateurs. La circulation de l'huile dans ce cas devient dirigée vers les serpentins et aide une barrière existante Fond du réservoir en dirigeant l'huile à la suite de l'orientation de l'huile dans les serpentins.

2.11. Système de protection

Les transformateurs sont équipés par des capteurs et d'équipements pour la protection : interne et externe.

2.11.1. Les défauts externes

- Perturbation sursensions dans les transformateurs
- Court-circuit externe
- Les surcharges dans les systèmes
- Les défauts du système externe de refroidissement
- Défaut sur les réseaux qui contraignent le transformateur
- Surchauffe lors traitement d'huile
- Les défauts dans les pompes
- Les foudres

2.11.2. Les défauts internes

- Vieillessement et détérioration d'isolation
- Les court-circuit interne entre les enroulements et noyau
- Température d'huile isolante
- Défauts de fabrication et conception
- Défaillance l'isolation du noyau
- Les fuit d'huile
- Rupture d'isolement entre l'empilement et la terre

2.11.3. Protection interne

❖ Relais buchholz

Le dispositif de Bachelles Relay est l'un des dispositifs de protection les plus importants nécessaires dans les transformateurs de puissance , Le relais électrique Bachelles est installé dans les tuyaux reliant le réservoir principal et le réservoir de secours Pour qu'il accomplisse des tâches importantes, qui sont :

- Donne un signal lors l'augmentation de pourcentage de gaz dans le réservoir .
- Donne un signal et déconnecter complètement le transformateur lorsque l'huile dans le réservoir est inférieure à un certain pourcentage, afin de le protégé de la combustion.

- Débranchez le transformateur lorsqu'un court-circuit électrique se produit ou que le courant augmente d'un très grand pourcentage.

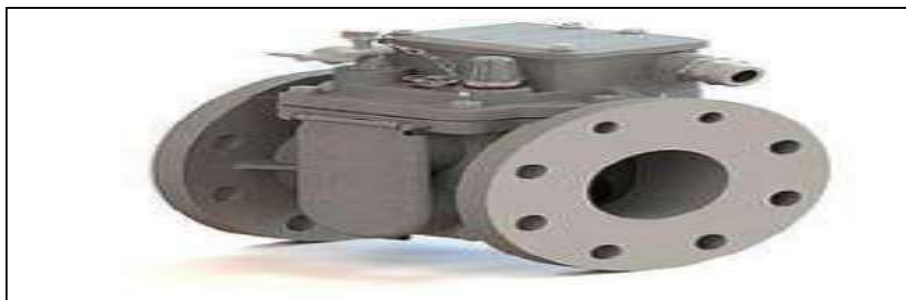


Figure II.6 : Relais buchholz [5]

❖ DGPT

Le DGPT (détecteur gaz, pression et température) est un appareil de protection Pour transformateurs à isolement liquide. Cette appareil a détecté une anomalie Dans les diélectriques liquides tels que les décharges gazeuses, les montées en pression ou température et provoquer l'arrêt du transformateur. C'est surtout Pour la protection des transformateurs à immersion étanches entièrement remplis. Pour un Défaut grave, le dégagement de gaz s'accumule au point haut du relais, un TROP d'accumulation peut déclencher une alarme Il surveille le chauffage de l'huile dans la cuve à la température de l'huile jusqu'à 75°C degrés Celsius, il donne une alarme et pour 80°C Celsius actionnera le disjoncteur.

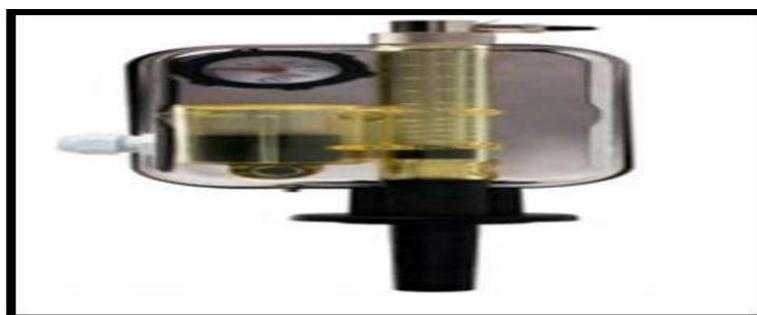


Figure II.7 : DGPT [6]

❖ La soupape

La soupape de sécurité utilisée dans le transformateurs immergé d'huile. Il aide à

déchargement la suppression des causes internes et soutient l'intégrité de la cuve. La soupape montée directement ou appuyée n'importe où sur le couvercle ou la paroi du réservoir.

2.11.4. Protection externe

❖ Protection différentielle

La protection différentielle du transformateur est une protection principale et aussi importante, et le principe de fonctionnement de cette protection est basé sur la comparaison des courants entrants et sortants. Et elle utilisée pour détecter les courants de défaut inférieurs au courant nominal.

❖ Les parafoudres et les éclateurs

Pour la protection contre les surtensions, deux moyens sont largement utilisés, les éclateurs et les paratonnerres :

❖ Les parafoudres : C'est un appareil qui protège contre les surtensions soudaines



Figure II.8 : les parafoudre [7]

❖ Les éclateurs : C'est un appareil simple composé de deux électrodes dans l'air, et la tension aux extrémités est déterminée par l'allumage de l'entrefer.



Figure II.9: les éclateurs [8]

❖ Le fusible

Le fusible qui placé avant l'enroulement de haute tension est pour but de protéger le réseau.

2.12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une vision globale sur les transformateurs de puissance et leur caractéristique et opérationnelles et technique. Nous avons vu leur principe de fonctionnement. Ainsi que leur système de refroidissement et leur système d'isolation et de protection.

Chapitre 03

LES ANALYSE D'HUILE DE TRANSFORMATEUR

3.1. Introduction :

L'huile de transformateur est une huile isolante et de refroidissement qui utilisée dans les transformateurs et les autres équipements électriques et doit être régulièrement testée Pour s'assurer qu'il est toujours utilisable. Les procédures de test sont présentes par des normes internationales, Les tests d'huile de transformateur sont :la mesurer la tension de claquage et les autres propriétés chimiques et physiques d'huile en laboratoire.

3.2. Les type d'huile de transformateur :

3.2.1. Les huiles minérales :

Les huiles minérales de transformateur sont un liquide isolant obtenu par du pétrole brut par des opérations spécifiques, ils constituées de quatre groupes d'hydrocarbures : les paraffines, les naphènes, les aromatiques et les alcènes.

- ❖ **Les paraffines** : Elles sont composées des hydrocarbures de type Alcanes : molécules à liaisons saturées (-C-C-) à chaine ramifiée Ces huiles sont principalement composées de cire de paraffine (Alcanes).
- ❖ **Les naphènes** : Ce type d'huile a une bonne résistance à l'oxydation et un point d'écoulement bas, Peu présent dans les huiles utilisées dans les transformateurs fortement sujets au vieillissement, il reste dans les condensateurs isolés et les traversées.
- ❖ **Les alcènes** : accélèrent la décomposition de l'huile et sont ainsi éliminés.

3.2.2. Les huiles de silicone :

Ont une bonne résistance au vieillissement 56. Elles ont un point d'éclair jusqu'à deux fois celui des huiles minérales, autour de 300°C au lieu de 150°C, et leur viscosité est plus faible à basse température.

3.2.3. Les PCB (Polychlorobiphényles) :

Les PCB sont produits industriellement depuis 1930. Ces produits sont principalement utilisés comme isolants électriques, fluides caloporteurs ou isolants dans les transformateurs

et les condensateurs. Ils ont également été largement utilisés comme lubrifiant pour les turbines et les pompes.

3.2.4. Les huiles végétales :

Sont fabriquées à partir d'esters naturels, leur composition La chimie est simple (des dizaines de molécules). Les caractéristique principale Cette série de liquides à une résistance au feu, une solubilité élevée dans l'eau et une faible toxicité Biodégradabilité faible et élevée (notamment en raison de faibles propriétés antioxydants et hydrolyse). Et pour certaines des raisons aussi économiques ou techniques, il utilise de l'huile végétale au lieu de l'huile minérale Transformateurs basse et moyenne.

3.3. Les bases pour choisir l'huile de transformateur :

Pour choisir le type d'huile doit être sélectionné

- Les types des transformateur (hermétique ou respirant)
- Stabilité à l'oxydation
- Les conditions d'exploitation. [9]

3.4. Classification des huiles de transformateur :

Selon la CEI 60296 Les huiles pour transformateurs sont classées en trois groupes :

- Les huiles qui signalées par la lettre U pour transformateurs non inhibées.
- Les huiles qui signalées par la lettre T pour transformateurs faiblement inhibées.
- Les huiles qui signalées par la lettre I pour les transformateurs inhibés. [9]

3.5. Les propriété d'huile

3.5.1. Physique et chimique :

❖ La viscosité

La viscosité est le flux de résistance à l'état normal, La résistance à l'écoulement de l'huile du transformateur signifie l'obstruction de la circulation de l'huile caloporteurs à l'intérieur convertisseur. Une bonne huile doit avoir une faible viscosité afin d'offrir moins de résistance à l'écoulement Viscosité de l'huile à 20°C >25 sc. = 25 x10 m2/sec. Il faut tenir

compte du fait que la viscosité de l'huile augmente lorsque la température diminue La quantité de débit d'huile diminue et les taux de transfert de chaleur à travers l'huile diminuent.

❖ **Point d'éclair**

La température à laquelle l'huile dégage suffisamment de vapeurs pour produire un mélange combustible Avec de l'air par contact avec une surface chaude, une étincelle ou une flamme. Point d'éclair Important car il décrit les risques d'incendie dans le transformateur comme d'abaissement point d'éclair d'huile signifie un risque d'incendie accru.

❖ **La teneur en eau**

L'humidité ou la teneur en eau de l'huile de transformateur est hautement indésirable car Cela affecte négativement les propriétés isolantes de l'huile. Pour éviter l'eau libre dans l'huile, les nouvelles huiles isolantes doivent avoir une teneur en eau limitée. Il convient de noter que la présence d'humidité dans l'huile renseigne sur l'état des papiers présents dans le transformateur.

❖ **Acidité**

L'acidité représente un dérivé de l'acide formé lors du vieillissement de l'huile. Sa détermination fournit le moyen le plus direct d'apprécier et de suivre les variations du pétrole. Il est exprimé en mesurant l'indice d'acidité, qui correspond aux milligrammes de KOH nécessaires pour neutraliser un gramme d'huile.

3.5.2. Electrique :

❖ **L'angle de pertes diélectrique**

D'un isolant est l'angle complémentaire du déphasage entre la tension appliquée au diélectrique et le courant qui en résulte appareillage.

❖ **Résistance à la tension de claquage**

La résistance au claquage électrique est un paramètre essentiel dans la conception du système d'isolation d'un transformateur. L'huile de transformateur doit avoir une résistance élevée à la tension de claquage. Si le transformateur est de faible puissance, cela indique la présence de contaminants tels que l'humidité, les matériaux fibreux, les particules de carbone et les dépôts de boues de sédimentation.

❖ **La tension diélectrique**

La tension de claquage d'un isolant est la tension minimale qui fait qu'une partie d'un

isolant devient électriquement conductrice.

❖ La rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique est la valeur du champ électrique correspondant à cette tension exprimée en kV / cm.

3.6. Prélèvement des échantillonnages huiles pour analyse Physico-Chimiques

3.6.1. Préparation de l'outil d'échantillonnage

❖ *Les matériaux nécessaires :*

- Les bouteilles de prélèvement d'échantillonnage doivent être en métal ou en verre : 500 ml, 01 litres, 02 litres selon les paramètres à analyser-tuyau, bouchon.
- Lavez les bouteilles avec l'eau chaude additionnée de détergent et rincez-les sous l'eau courante.
- Rincer la bouteille avec de l'eau distillée
- Sécher les bouteilles dans une étuve à une température de 100°C jusqu'à ce qu'il soit complètement sec
- Les bouteilles doivent être Déshumidifier dans un dessiccateur pendant au moins 30 min
- Après séchage, le flacon doit être protégé de toute contamination et Ouvrir uniquement



Figure III.1 : lave des bouteilles avec l'eau chaud

❖ **Présentation d'échantillon**

Il est important de mentionner toutes les informations relatives à l'échantillon d'huile (comme indiqué dans le tableau) pour Attache-le à la bouteille d'échantillonnage.

Tableau III.1: les information relatives à l'échantillon d'huile .

Huile isolante	Information
Nom de	Société Algérienne de production
Nom de transformateur	Transformateur triphasé immergé dans l'huile minérale
Marque du transformateur	TP 01
Date de prélèvement	28/12/2021
Condition de prélèvement	En service
Type d'huile	Huile minéral (Borak 22)
Point de prélèvement	Bas vanne
Date d'exécution du transformateur	2013

3.6.2. Procédure :

L'échantillon d'huile pour analyse est prélevé au fond du réservoir latéral à l'aide des vannes d'échantillonnage disponibles. En aucun cas L'échantillon ne doit être prélevé à plus de 30 cm de la base du transducteur

❖ **Les étapes de prélèvements :**

- Nettoyer l'extérieur de la vanne d'échantillonnage.
- Connecter le tube Tauon au vanne de prélèvement.
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et laissez environ 1 litre d'huile s'écouler dans le récipient huile usée.
- Fermer la vanne d'échantillonnage.
- Retirer le bouchon du bouteille d'échantillonnage. Insérez le tube dans le bouteille

d'échantillonnage et Ouvrir la vanne de prélèvement pour remplir le bidon à hauteur de 30 %.

- Fermer la vanne de prélèvement, rincez la bouteille de prélèvement avec l'huile prélevée, puis Jetez l'huile dans le récipient d'huile usée.
- Insérer le tube dans la bouteille, ouvrez la vanne de prélèvement et remplissez la bouteille complètement d'huile puis le ferme avec le bouchon.
- Fermer la vanne d'échantillonnage et ôter le tube
- Resserrer de nouveau le bouchon une fois que l'huile a refroidi à température ambiante.
- Envoyer l'échantillon au laboratoire dans les plus brefs délais.



Figure III.2 : La vanne d'échantillonnage

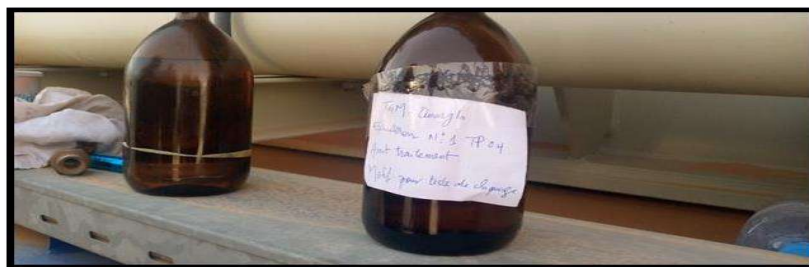


Figure III.3 : Les bouteille d'échantillonnage

3.7. Les analyses d'huile d'un transformateur de puissance

3.7.1. L'inspection visuelle :

L'inspection visuelle d'huile donne des informations utiles sur l'état du transformateur d'un point de vue opérationnel peuvent être obtenues à partir des observations suivantes :

- Une apparence trouble peut indiquer la présence de carbone humide ou la formation

d'impuretés planctonique

- La couleur jaune foncé peut être le signe d'une température élevée
- La couleur noire est souvent causée par un arc qui a soit une carbonisation d'huile soit isolation
- La meilleure huile est claire,

L'inspection visuelle est enregistrée dans le «Rapport d'analyse d'échantillon d'huile SPTD »



Figure III.4 : les couleurs d'huiles

3.7.2. Couleur (ASTMD-1500) :

❖ Principe

La couleur d'une huile est déterminée en lumière transmise et exprimée par un nombre obtenu en comparaison avec une série de couleurs normalisées (Tableau (4)). L'indice de couleur de l'huile est de 0.5 à 8.

❖ Appareillage.

- Colorimètre
- Cuve en quartz
- Afficheur.
- Clavier

❖ Mode opératoire

- Remplir la cuve d'essai avec une quantité d'huile à analyser.
- Vérifier que les fenêtres d'extrémité de la cuve de l'échantillon sont propres.
- Tenir la cuve par les côtés.
- Attendez que l'échantillon se dépose, en donnant aux bulles d'air le temps de se disposer
- Placer la cuve dans le colorimètre.
- Appuyer sur la touche READ.

- Lire la valeur de la couleur qui est affichée sur l'écran. Le résultat de la mesure est affiché sur l'écran d'affichage.
- Vérifier que la valeur chromatique est comprise dans les tolérances spécifiées dans la plage de valeur précisée dans le certificat de conformité. **Le Tableau 4** présente les correspondances entre es numéros et les couleurs :



Figure III.5 : Appareil de mesure de la couleur [10]

Tableau III.2: les codes des couleurs

Numéro	Couleur
1	Blanc pur
1.5	Blanc crème
2	Extra pale
2.5	Citron extra pale
3	Citron pale
3.5	Orange extra pale
4	Orange pale
4.5	Orange
5	Rouge Claire
6	Rouge foncé
7 et 8	Rouge Boudreau

3.7.3. La tension de claquage (ASTMD-1816) :

❖ **Objet :**

La tension de claquage de l'huile isolante est importante pour déterminer la capacité des huiles à résister aux contraintes électriques sans défaillance, elle indique la présence de facteurs polluants tels que l'eau, la saleté, l'humidité et les fibres, ainsi que la présence de particules conductrices dans l'huile.

❖ **Principe :**

Le liquide à tester contenu dans un appareil spécifique est soumis à un champ alternatif croissant obtenu en augmentant la tension à vitesse constante jusqu'à l'obtention d'un claquage.

❖ **Appareillage :**

L'appareil utilisé pour la mesure de la tension de claquage est appelé Spintermètre, il est composé de :

- Le capot de protection.
- Une cellule d'essai en matière moulée transparente de 0.4 litre avec couvercle .
- Deux portes électrodes et deux électrodes constituées par deux sphères en laiton poli de 12,5 mm de diamètre écartées l'une de l'autre de 2,5 mm .
- Alimentation en tension (câble de raccordement au secteur).
- Jeu de jauges d'épaisseur pour le réglage de l'écart entre les électrodes.
- Imprimante à papier normal et Panneau de commande et Agitateur magnétique.



Figure III.6: l'appareil de spintermètre Megger

❖ Mode opératoire :

Les étapes suivantes sont les procédures recommandées pour le test de rupture diélectrique de l'huile isolante

- Laissez la température de l'échantillon d'huile égaler la température ambiante.
- Sélectionnez le récipient d'essai avec des électrodes sphériques, le récipient d'essai doit être équipé d'un dispositif d'agitation automatique.
- Réglez l'écart entre les électrodes à 2,54 mm
- Réglez l'augmentation de tension automatique à 3 kV/sec
- Réglez l'intervalle entre les répétitions des frères et sœurs à chaque 60 seconde et Nettoyez le récipient de test et les électrodes avec du trichloroéthane.
- Essuyez le récipient de test avec un chiffon ou du papier non pelucheux.
- Retourner délicatement le contenant d'échantillon d'huile de transformateur et le faire tourner plusieurs fois avant chaque remplissage du contenant d'essai. Cela mélangera les impuretés dans le puits d'huile.
- Rincer lentement le récipient de test et les électrodes avec l'huile de l'échantillon afin qu'aucune bulle d'air ne se forme dans l'huile. 10- Remplissez le récipient de test jusqu'à un niveau d'au moins 20 mm au-dessus du haut des électrodes.
- Accordez une période de stabilité de trois minutes avant d'effectuer le premier test de claquage.
- Exécutez six tests de claquage avec un intervalle de 60 secondes entre les tests successifs

❖ Les résultats

Ignorer la valeur de la première tension de claquage et calculez la moyenne des cinq tensions suivantes en série, comme illustré à l'Encore une fois, ignorez la première tension de claquage et soustrayez la tension la plus basse de la plus élevée des cinq tensions de claquage. Multipliez cette différence par trois. Si la valeur résultante est supérieure à la valeur suivante de la tension de claquage minimale, l'écart type de la tension de claquage est trop élevé et le test est invalide. Dans ce cas, le test de claquage doit être retenté avec de l'huile neuve.

3.7.4. Point d'éclair (norme ASTM D93) :**❖ Principe :**

Le produit à tester est chauffé progressivement et est Vitesse ininterrompue pour 3°C. La température la plus basse à laquelle la flamme pilote provoque l'inflammation de la vapeur émise est le point d'éclair en coupelle fermée du produit considéré.

❖ **Appareillage :**

- La point d'éclair se détermine à l'aide d'un appareil de marque PETROTEST
- Il comprend essentiellement :
 - Tête multi fonction
 - Multi détecteur
 - Agitateur
 - Coupe à essai avec couvercle (creuset)
 - Allumeur (gaz)
 - Afficheur
 - Interrupteur
 - Connexion gaz



Figure III.7 : appareil de mesure du point d'éclair

❖ **Mode opératoire**

- Allumez l'appareil et alimentez-le en gaz naturel.
- Remplir le creuset jusqu'à ce que le produit atteigne le niveau de remplissage gravé dans le creuset.
- Placer le creuset au centre de la plaque chauffante prévue à cet effet.
- Mettre le couvercle sur le creuset.
- Réglez la flamme.

- Réglez la consigne de température d'allumage pour le test de démarrage
- Appuyez sur la touche RUN pour démarrer l'opération.
- Une fois clignotant, un bip signalera la fin du test.

3.7.5. Teneur en eau (CEI 60814 et NF C 27222/CEI 422) :

❖ Principe :

Réaction l'eau réagit avec une solution d'iode et de dioxyde de soufre (anhydride sulfureux) dans un mélange de pyridine et de méthanol (réactif K. FSCHER).

❖ Appareillage

- Seringue en verre
- Colorimètre KARL FISHER de marque BAUR composé de :

Imprimante incorporée ,menu d'affichage, touches de commande et d'un clavier

- La vase de titrage est composée de :

Tube de séchage, d'une électrode génératrice, d'une électrode indicatrice, d'un barreau D'agitation magnétique et d'un bouchon avec septum.



Figure III.8 : appareil de mesure de la teneur en eau [10]

❖ Mode opératoire

- Appuyez sur la touche STAR, l'affichage demande d'attendre ; lorsque la dérivée atteint une valeur stable (l'appareil est stable), un bip retentit et l'indication « prêt à doser » s'affiche.

- Utilisez une seringue en verre de haute précision pour introduire l'échantillon à travers le septum.
- Rincer la seringue avec l'huile à analyser avant injection.
- Remplir la seringue d'huile.
- Pesez la seringue. Appuyez sur la touche STAR pour injecter de l'huile.
- Injecter une certaine quantité d'huile.
- Pesez à nouveau la seringue et utilisez le clavier pour saisir le poids de l'huile injectée.
- Appuyez sur la touche Entrée.
- La valeur de la teneur en eau en ppm s'affiche à l'écran et le résultat est imprimé sur l'imprimante intégrée.
- Trois tests ont été réalisés.
- La teneur en humidité est la moyenne arithmétique de trois tests.

3.7.6. Perte diélectrique (CEI 247) :

❖ Principe :

Le système de mesure DTL mesure la valeur de $\tan \delta$ avec la plus grande précision. Il détermine les propriétés du liquide isolant, telles que la pureté, la teneur en eau et le degré de vieillissement.

❖ Appareillage :

La perte diélectrique est mesurée à l'aide d'un équipement de la marque BAUR DTL, qui comprend :

- Un panneau de commande composé d'un clavier et d'un afficheur. Une housse de protection.
- La cellule de mesure.
- Touche de vidange de la cellule de mesure.
- Imprimante matricielle.
- Alimentation en tension (câble de raccordement au secteur).



Figure III.9 : appareil de mesure des pertes diélectrique [10]

❖ **Mode opératoire :**

- Définir DTL. Selon CEI 250.
- Remplir la batterie en versant de l'huile lentement et en continu.
- Rincez la batterie en appuyant au moins 3 fois sur le bouton de la vanne de vidange.
- Remplir la cellule de mesure avec l'huile à mesurer.
- Fermer et verrouille capot de protection.
- Appuyer sur la touche STAR.
- L'huile à analyser est chauffée jusqu'à la température de mesure qui est de 90°C.
- Les résultats sont affichés et imprimés automatique sur l'imprimante.

3.7.7. La densité (NF ISO 279) :

❖ **Principe :**

La densité donne directement par simple lecture, pour une mesure faite à 15°C, la valeur de la masse volumique.

❖ **Appareillage :**

- Densimètre : choisir un Densimètre approprié à la tension superficielle de l'huile à examiner.
- Eprouvette cylindrique de 250 ml, le diamètre de l'éprouvette doit être de plusieurs millimètre plus grand que le densimètre
- Thermomètre avec une précision de 0.2°C.

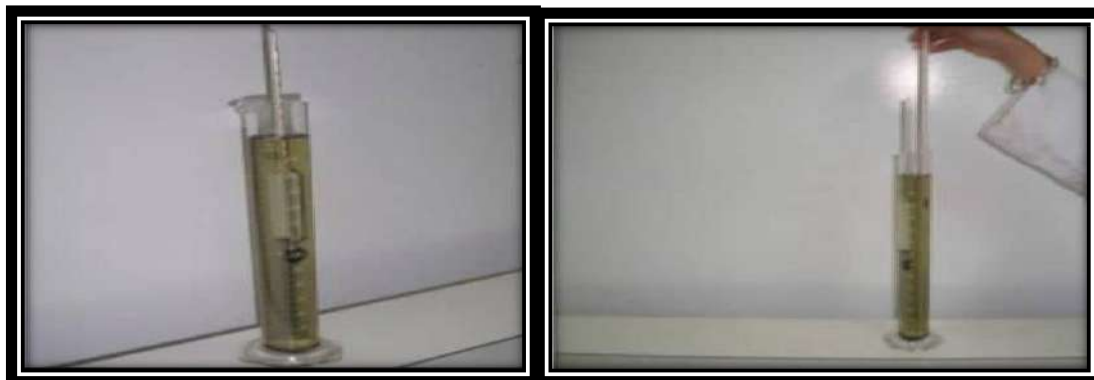


Figure III.10 : Densimètre [10]

❖ **Mode opératoire**

- Laisser le liquide atteindre l'équilibre thermique avec le milieu ambiant et le verser dans le tube à essai. Éviter de former des bulles d'air dans le liquide.
- Noter la température du liquide à 0,2°C près.
- Insérer délicatement le densimètre dans l'huile en tenant le haut de la tige Relâcher le densimètre lorsqu'il est approximativement en position d'équilibre.
- Correction de l'écart entre température du liquide et température de référence du densimètre (15 °C), ensuite celle de la masse volumique.

3.7.8. Acidité (NF T 60-112 et CEI 422 / NF C 27 222) :

❖ **Principe :**

La prise d'essai est dissoute dans un mélange de toluène et d'alcool isopropylique . La solution homogène obtenue a été titrée avec du KOH, en présence de couleur bleue basique comme indicateur.

❖ **Appareillage :**

- Burette en verre de 2 ml avec des dixièmes de millilitre, une fiole conique de 250 ml avec émeri, une éprouvette et une balance.
- Réactifs

- Ethanol 96°
- KOH : Solution d'hydroxyde potassium (0.1 N)
- Bleu alcalin
- Toluène
- HCL : solution d'acide chlorhydrique (0.1 N)

❖ **Mode opératoire :**

- Procédure Préparation de la solution :

Solution de titrage : Mélanger trois volumes de toluène et deux volumes d'éthanol et ajouter 2 ml de solution d'indicateur.

Solution indicatrice : Elle contient 2 g de bleu basique dissous dans 100 ml d'éthanol et contient 1 ml de HCL 0,1 mol/l.

- Le test comprend les étapes suivantes :

Verser 50 ml de la solution de titrage dans l'erlenmeyer. Neutraliser HCl (inclus dans la solution de titrage) avec KOH 0. IN Ajouter la prise d'essai à la solution ainsi obtenue

Neutraliser avec du KOH jusqu'à changement de couleur.

Faites attention à la quantité d'ajout de KOH.

L'indice d'acide l'est calculé par la formule suivante :

$$La = (A \times N \times 56,1) / M \dots \dots \dots$$

A : Volume (mm) de solution de sel de potassium utilisé pour titrer l'échantillon à tester.

N : Normalité de la solution de sel de potassium.

M : Masse de la prise d'essai en grammes de la prise d'essai qui est de :

10 d'huile isolante et 5 g d'huile de lubrification.

3.7.9. Résultats des analyse d'huile de TS01

Type d'équipement : TS 01

N° de série : 104864

Constructeur : GRTE

Puissance : 14 MVA

Tension : 15.5 / 6.3 KV

Tableau III.3: Résultats des analyse d'huile de TS01

Paramètre	unités	Normes	Résultats	Valeurs limites CEI
Aspect	visuel	-	-	-
Couleur	-	ASTMD 1500	0.5	-
Masse volumique à 15 °C	g/ cm ³	ISO 3675	0.881	0.880
Tension de claquage	kV	IEC 60156	100.1 99.8 75.8 87.6 100.0 92.5 Moyenne : 92.6	U > 170 KV : > 50 72.5 < US 170 KV : > 40 U ≤ 72.5 KV : > 30
Rigidité diélectrique	KV / cm		421.70	350.60
Acidité totale	Mg KOH /g Huile	IEC 60156	0.0027	0.0027
Teneur en eau	ppm	CEI 60814	03	07
Pertes diélectriques à 90		IEC 60247	0.0048	0.0054
Point d'éclair (vase clos)	°C	ASTMD 93	156.5	-

3.7.10. Les résultats des analyse d'huile de TP 1

Type d'équipement : TP 01

N° de série : 106800

Constructeur : GRTE

Puissance : 300 MVA

Tension : 15.5 / 400 KV

Tableau III.4 : Résultats des analyse d'huile de TP01

Paramètre	unités	Normes	Résultats	Valeurs limites CEI
Aspect	visuel	-	-	-
Couleur	-	ASTMD 1500	1.3	-
Masse volumique à 15 °C	g/ cm3	ISO 3675	0.882	-
Tension de claquage	KV	IEC 60156	100.7 102.6 100.7 100.8 100.9 100.2 Moyenne : 100.9	U > 170 KV : > 50 72.5< US 170 KV:>40 U≤72.5 KV : > 30
Rigidité diélectrique	KV / cm		459.05	-
Acidité totale	Mg KOH /g Huile	IEC 60156	0.023	U > 170 KV : >0.15 72.5<US170 :KV>0.20 U≤72.5 KV : > 30
Teneur en eau	ppm	CEI 60814	04	U > 170 KV : > 20 72.5< US 170 KV:<30 U≤72.5 KV : 40
Pertes diélectriques à 90	-	IEC 60247	0.0040	U > 170 KV : > 0.20 72.5<US170:KV:>0.40 U≤72.5 KV : > 0.50
Point d'éclaire	°C	ASTMD 93	154.5	-

3.8. Conclusion

Les analyses des huiles avec des appareils conformes aux normes internationales permettent non seulement d'apprécier l'état général de l'huile, mais aussi de détecter la cause de détérioration ou l'origine d'un polluant et, en conséquence, de prendre mesures appropriées pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil. Il est également nécessaire d'obtenir le plus de données possible, et la précision et la fiabilité des résultats en dépendent strictement.

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

L'application de la maintenance aux systèmes électromécaniques est nécessaire pour réduire au maximum le nombre de défauts et le moment de leur apparition, et ainsi améliorer l'augmentation de la production et de la qualité de ces systèmes.

Dans ce travail, et après stage pratique au sein de société de production de l'électricité HMN3 En savoir plus sur le transformateur et ses composants ,et leur principe de fonctionnement, leur défaut et comment ils peuvent être traités, et nous avons appris à connaître ses systèmes d'isolation et de refroidissement, et nous connaissions également l'importance de l'huile dans les transformateurs.et nous avons expliqué chaque analyse très soigneusement en termes d'outils et des machines utilisés au cours de celle-ci, en fonction de la manière dont les échantillons sont prélevés ou extraits, et comme nous avons vu comment il est détecté à travers les résultats des analyses et ce qui contribue au maintien de la durée de vie de l'alimentation du transformateur de défaut.

Finalement, nous souhaitons que ce mémoire puisse servir comme outil de travail pour les futurs étudiants ainsi que pour l'entreprise, et qu'il sera amélioré et complété pour rendre son utilité plus complète.

Références Bibliographiques

- [1] OUNECHE , A., & BOUDOUH, Y «*Etude du Fonctionnement de la centrale de production d'électricité TG Mobile de Ouargla 17x4 MW*» . Ouargla, Université KASDI MERBAH Ouargla (2019) .
- [2] <https://WWW.SPR.DZ/index.oho/fr/historique-de-spe> 30/05/2022
- [3] DJEMAOUNI , A , «*Etude et analyse du procédé de la maintenance du transformateur de puissance de la centrale thermique de jijel*» , mémoire de master , jijel , UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA –JIJEL (2019).
- [4] EKE,S , A , «*Stratégie d'évaluation de l'état des transformateur : Esquisse de solution pour la gestion intégrée des transformateur vieillissants*» , thèse de doctorat, UNIVERSITE DE LYON (2018) .
- [5] OMRANI , A , «*Protection et maintenance des transformateurs dans l'unité industrielle* » , mémoire de master , Biskra , Université Mohamed Khider de Biskra (2019) .
- [6] <https://docplayer.fr/58743662-Notice-technique-dgpt2.html> 30/05/2022
- [7] <https://fr.made-in-china.com> 30/05/2022
- [8] <https://learn.adafruit.com/assets/90605> 30/05/2022
- [9] NAIT DJOUDI , A ,«*caractérisation de l'huile pour transformateurs en service*», mémoire de master , Tizi-ouzou , UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU (2014).
- [10] TOUDJI , T , «*étude de la problématique des mélanges d'huiles des transformateurs de puissance par l'analyse des propriétés physicochimiques et électriques*» , thèse de doctorat , Alger , UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE (2016)

