



*LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES  
Génie Electrique*

**RAPPORT DE FIN D'ETUDES**

*Etude des contraintes de la mise en  
parallèle des trois transformateurs de  
puissance au poste EL OUALI*

**Réalisé Par :**

**RIHANI Nada**

**ELBRAHMI Salima**

**Encadré par :**

**Pr. T. LAMHAMDI (FST FES)**

**Mr. A.ELMAKRINI (ONEE)**

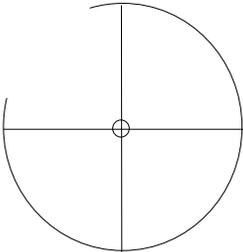
**Mr. H.ARFAOUI (ONEE)**

**Soutenu le 08 Juin 2017 devant le jury :**

**Pr T.LAMHAMDI (FST FES)**

**Pr T.LAMCHARFI (FST FES)**

**Pr N.ESSBAI (FST FES)**



# REMERCIEMENTS

---

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements aux personnes qui n'ont pas cessé d'apporter l'aide nécessaire. Nous citons en particulier M ELMAKRNI chef de la division régionale de Fès.*

*Nous remercions vivement Monsieur ARFAOUI Chef du Département Contrôle Commande du service exploitation Fès, et Monsieur LAMHAMDI professeur au département génie électrique à la faculté des sciences et techniques de Fès pour leur encadrement, leur patience et leurs conseils directifs nous ont mis sur la bonne voie, ainsi que les moyens considérables qu'ils ont mis à notre disposition.*

*Nous remercions également tout le personnel du service pour leurs aides et leurs renseignements avisés.*

*Enfin que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.*

## 1

### AVANT PROPOS

1.1 Objectifs du projet. ....	p.6
1.2 Structure du projet. ....	p.6

## 2

### Organisme d'accueil

2.1 Office National d'Electricité ONE. ....	p.8
2.2 Direction de Transport . ....	p.9
2.3 Division Régionale de Transport de Fès . ....	p.10

## 3

### Généralité sur un transformateur

3.1 Définition d'un réseau électrique. ....	p.12
3.2 Matériels utilisés dans les réseaux électriques . ....	p.12
3.3 Introduction au transformateur de puissance. ....	p.14
3.4 Le rôle et l'objectif général de transformateur de puissance. ...	p.14
3.5 Composants associés au transformateur de puissance. ....	p.14
3.6 Protections électriques . ....	p.15
3.7 Protection mécanique . ....	p.16
3.8 Les défauts . ....	p.16

## 4

### Etude théorique des Transformateurs

4.1 Modélisation des transformateurs . ....	p.19
4.1.1 Couplages . ....	p.19
4.1.2 Rapport de transformation . ....	p.19
4.1.3 Indice horaire . ....	p.19
4.1.4 Essai des Transformateurs à vide. ....	p.21
4.1.5 Essai Transformateur en court-circuit . ....	p.20
4.2 Couplage des transformateurs en parallèle . ....	p.22
4.3 Conditions de couplage en parallèle . ....	p.23
4.4 Impact sur le réguler de tension . ....	p.25
4.5 Les contraintes de la mise en parallèle . ....	p.30

## 5

### Etude de cas : Transformateurs installés à Poste ELOUALI

5.1 Présentation du poste ELOUALI. ....	p.32
5.2 Identification des transformateurs installés à ELOUALI. ....	p.32
5.3 Application. ....	p.33
5.3.1 Mesure .....	p.33
5.3.2 Application. ....	p.35
5.4 Conclusion .....	p.36
5.5 Solution proposées. ....	p.36

## 6

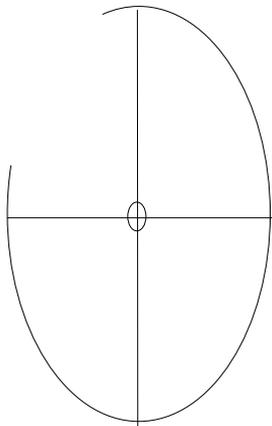
### Conclusion

6.1 Résultats .....	p.38
6.2 Recommandations .....	p.38
6.3 Conclusion .....	p.38

## A

### Annexes

A.1 caractéristique des transformateurs de poste ELOUALI. ....	p.40
A.2 schéma du poste ELOUALI. ....	p.40
A.3 schéma de repérage de puissance Saïss. ....	p.41



# Introduction Générale

---

Le fait d'effectuer notre stage dans un milieu professionnel dédié à l'apprentissage, l'observation, et le découverte du monde électrique va être pour nous, non seulement, une nouvelle expérience riche d'enseignement, mais aussi un enrichissement de nos connaissances dans le domaine du transport d'électricité.

En effet, l'ONEE a pensé de réaliser les transformateurs en parallèle dans le but d'augmenter la puissance disponible et faciliter la maintenance. Pour cela, notre stage concerne l'étude de la mise en parallèle des trois transformateurs au poste ELOUALI.

Notre projet de fin d'étude, que nous avons effectué chez l'ONEE vient dans ce contexte.

Cette étude sera relatée dans le présent rapport via trois parties. Ainsi, il sera question d'abord de présenter dans la première partie l'organisme d'accueil et sa principale activité.

La deuxième partie consiste en l'étude générale du réseau électrique, son rôle et ses constituants tout en appuyant sur le rôle du transformateur et citer ses différents composants, ses protections et ses défauts.

La troisième partie fera la suite de la deuxième, une étude théorique du transformateur de puissance, son couplage, son rapport de transformation, son rendement et les essais à vide et en court-circuit. Ainsi qu'une étude des transformateurs en parallèle, son but, ses conditions et leurs couplages.

La quatrième partie comprend l'étude et l'application sur les transformateurs au poste ELOUALI, ainsi que l'étude des contraintes et la proposition des solutions.

Finalement, nous tenons à préciser que notre but primordial dans ce rapport est de rendre l'exploitation de la mise en parallèle des transformateurs claire à toute personne ayant envie de réaliser un tel projet.

# 1 Avant-Propos

1.1 Objectifs du projet .....	p. 6
1.2 Structure du projet .....	p. 6

## 1.1 Objectifs du projet

Les besoins en énergie électrique des pays ne cessent d'augmenter, par conséquent le besoin de produire et de transporter cette énergie dans les meilleures conditions possibles est l'objectif majeur des services d'exploitations.

Pour le transport de cette énergie, l'élément le plus contraignant est le transformateur. C'est un appareil statique qui a comme rôle la transformation de l'énergie électrique. Ces caractéristiques principales sont : sa puissance nominale, les niveaux de tensions primaire/secondaire et sa puissance de court-circuit

L'enjeu de sûreté est un enjeu déterminant pour l'exploitant du réseau. Il se trouve renforcé par des contraintes économique qui l'oblige à utiliser le réseau existant et d'une manière constante ce pour répondre au besoin de la clientèle.

Dans notre service d'exploitation, ce dilemme sureté-capacité est clairement inhérente au poste 225/60/11 kV de poste ELOUALI. Le poste est confronté à deux contraintes majeures :

- Dépassement de la capacité des transformateurs.
- Sécurité des transformateurs.

Le service vise par ce travail à éliminer ces contraintes pour la mise en parallèle de ces transformateurs.

Pour cela, on a besoin d'étudier l'impact de la marche en parallèle des transformateurs sur leurs fonctionnements et d'éviter leurs échauffements par un bon contrôle d'isolement.

Donc notre mission s'articule autour de deux thèmes forts :

- ❖ Etude de la possibilité de la mise en parallèle des trois transformateurs au poste ELOUALI.
- ❖ Etude des contraintes de la mise en parallèle en proposant des solutions.

## 1.2 Structure du projet

La possibilité de la mise en parallèle des transformateurs consiste à étudier le comportement des transformateurs dans le but de se conformer aux exigences des clients au niveau sécurité, économie, fiabilité et surtout puissance.

Elle se pose sur la mise en œuvre de dispositifs de natures diverses adaptées à la dynamique des grands phénomènes à l'origine de la dégradation des transformateurs. Ces dispositions relèvent des notions techniques, théoriques et de l'historique et caractéristiques du poste.

C'est sur cette base que le présent rapport est structuré. Après la description de l'organisme d'accueil où nous avons élaboré ce travail, nous présentons les notions théoriques nécessaires et des données de base du poste d'ELOUALI. En suite, nous étudions la possibilité de la mise en parallèle des transformateurs avec des arguments appuyés Cette présentation est complétée par des Annexes qui contiennent :

- Schéma du poste ELOUALI,
- Caractéristiques des transformateurs à étudier,
- Rapport d'essai d'un transformateur

### Mots clés :

Transformateur de puissance, Mise en parallèle des transformateurs, Pertes du transformateur, Contrôle d'isolement des transformateurs.

# **2 Organisme D'accueil**

<b>2.1 Office National d'Electricité ONEE. ....</b>	<b>p. 8</b>
<b>2.2 Direction de Transport .....</b>	<b>p.9</b>
<b>2.3 Division Régionale de Transport de Fès. ....</b>	<b>p. 10</b>

## 2.1 Office National d'Electricité - Branche Electricité :

L'ONEE est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et a été investi depuis sa création de l'exclusivité de la production et le transport de l'énergie électrique. Il assure également la distribution de l'énergie électrique dans la majorité des provinces du royaume et dans le monde rural.

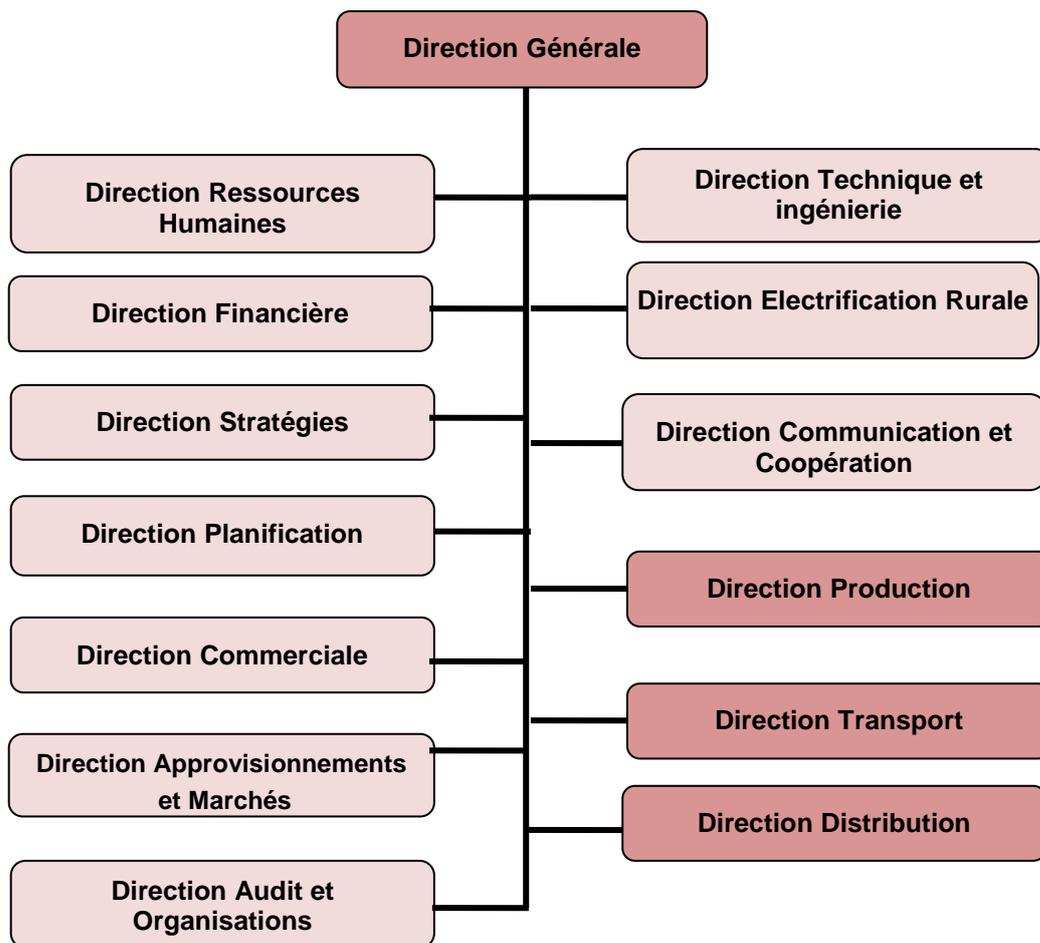
Ainsi la production et le transport de l'énergie électrique sur le territoire national sont assurés, depuis 1963, par l'Office National d'Electricité (ONEE), qui est placé sous la tutelle administrative et technique du Ministère de l'Energie et des Mines. En 1994 une partie de la production a été concessionnée au privé.

La coordination de gestion de l'ensemble du réseau de l'ONEE est assurée à partir du Dispatching National, implanté à CASABLANCA et doté de moyens modernes permettant une surveillance permanente et une exploitation optimale.

Les principales missions de l'ONEE consistent à :

- ✓ Répondre aux besoins du pays en énergie électrique ;
- ✓ Gérer et développer le réseau du transport ;
- ✓ Planifier, intensifier et généraliser l'extension de l'électrification rurale ;
- ✓ Œuvrer pour la promotion et le développement des énergies renouvelables ;
- ✓ Et, d'une façon générale, gérer la demande globale de l'énergie électrique.

L'organigramme de l'office national est représenté comme suit :



**Figure1 : Direction générale**

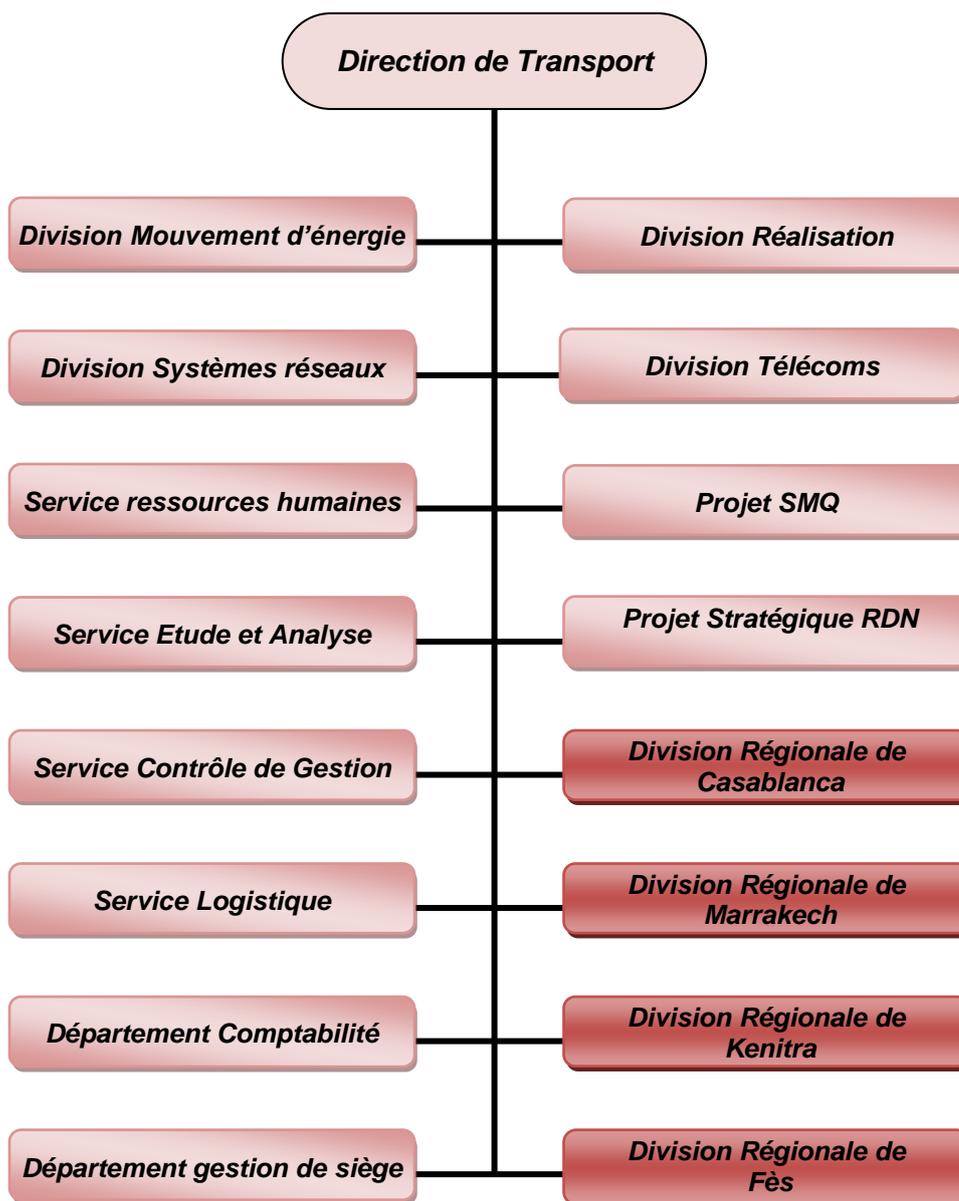
## 2.2 Direction de transport :

Le réseau de transport, relie les moyens de production aux centres de consommation, il couvre une très grande partie du territoire national. Il est, par ailleurs, interconnecté avec le réseau algérien au moyen de deux lignes 225 kV et avec le réseau espagnol par deux câbles 400 kV sous-marins.

Les principales missions de la Direction du Transport est de satisfaire les besoins en énergie électrique des agences de distribution ONEE, des régies et des clients directs tout en :

- 1) Approvisionnant l'énergie au moindre coût,
- 2) Assurant la sécurité d'alimentation de la clientèle.

L'organigramme de la direction de transport est le suivant :



**Figure2 : Direction de transport**

## 2.3 Division Régionale de Transport de Fès :

L'exploitation des ouvrages du réseau de transport sur le territoire couvert par la Division dans les meilleures conditions de sécurité, qualité de service et au moindre coût.

- Elle assure la maintenance des réseaux de Transport,
- Elle conduit sur le plan technique les investissements nécessaires à l'extension du réseau HT et au renouvellement des installations de son réseau,
- Elle maintient Le développement de ses ressources humaines.

### 2.3.1 Service Exploitation Fès :

Le service Exploitation Fès a pour objectif de coordonner entre les sections et les groupements, le service se compose de deux Départements Maintenance et Conduite présidés par le chef de service Exploitation.

#### Département maintenance :

Le département maintenance a pour rôle la supervision et le suivie des différentes activités des 4 sections : Section postes, Section Lignes, Section télécommunication et Section Contrôles électriques.

### 2.3.2 Section Contrôles Commandes :

La section poste a pour objectif :

- Contrôler et inspecter l'ensemble des équipements Contrôles Commandes.
- Réaliser la maintenance des Postes hors tension avec et sans coupure.
- Réaliser la maintenance Poste sous Tension.

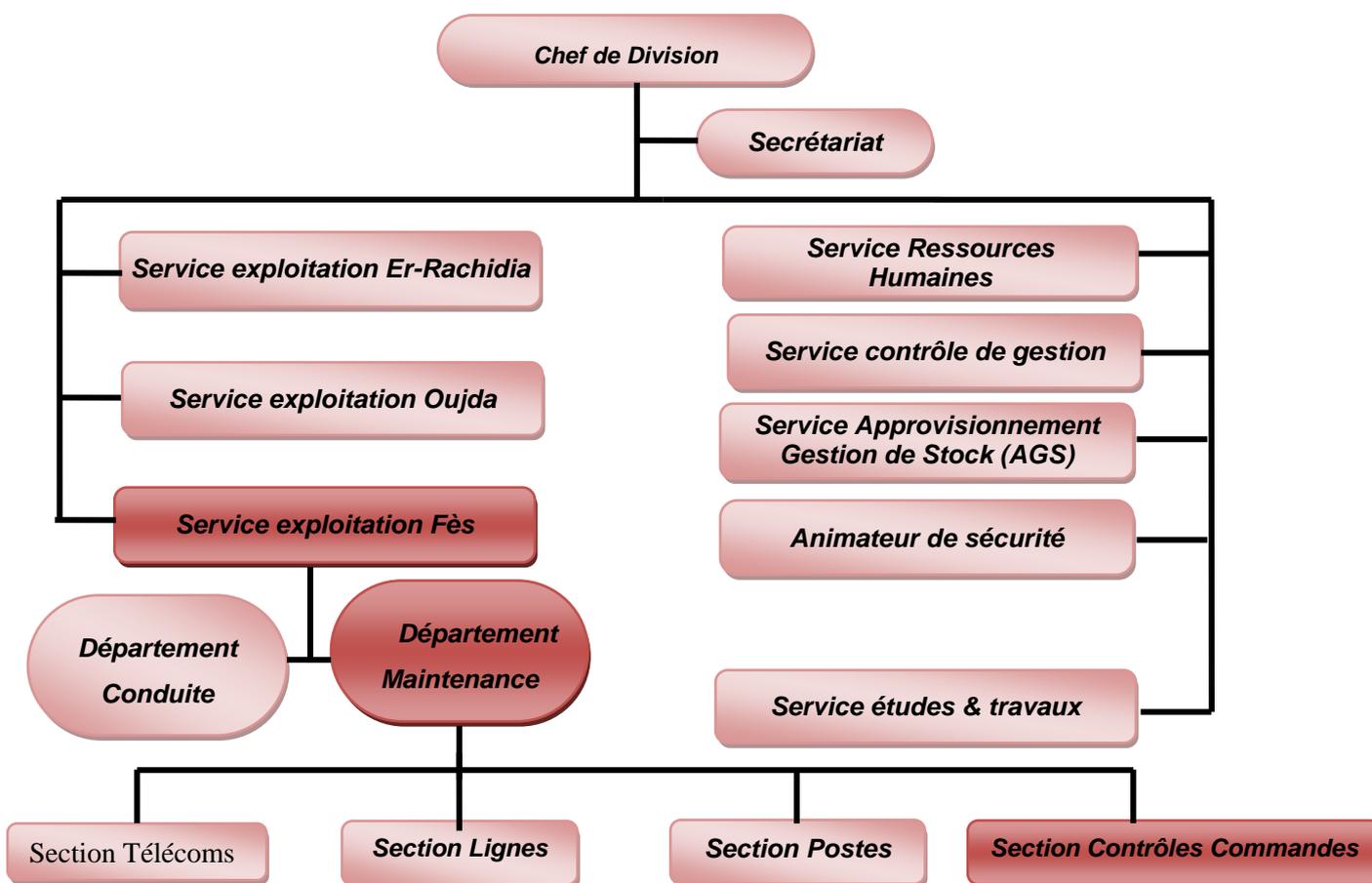


Figure3 : Chef de division

# 3 Eléments constituant d'un transformateur

3.1 Définition d'un réseau électrique . . . . .	p.12
3.2 Matériels utilisés dans les réseaux électriques . . . . .	p.12
3.2.1 Matériels de puissance . . . . .	p.12
3.3 Introduction au transformateur de puissance. . . . .	p.14
3.4 Le rôle et l'objectif général de transformateur de puissance. . . . .	p.14
3.5 Composants associés au transformateur de puissance. . . . .	p.14
3.6 Protections électriques . . . . .	p.15
3.6.1 Protection masse cuve . . . . .	p.15
3.6.2 Protection Différentielle . . . . .	p.16
3.6.3 Protection manque de circulation d'huile . . . . .	p.16
3.6.4 Protection maximum de courant . . . . .	p.16
3.7 Protection mécanique . . . . .	p.16
3.7.1 Protection Bucholz . . . . .	p.16
3.7.2 Protection par soupape . . . . .	p.16
3.7.3 Protection Thermométrique . . . . .	p.16
3.7.4 Protection Régleur (changeur de prise en charge) . . . . .	p.17
3.8 Les défauts . . . . .	p.17

### 3.1 Définition d'un réseau électrique :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production, transport et consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

### 3.2 Matériels utilisés dans les réseaux électriques :

Le réseau électrique est constitué non seulement de matériel haute tension, mais également de nombreuses fonctions périphériques telles que la téléconduite ou le système de protection.

#### 3.2.1 Matériels de puissance :

Les lignes électriques relient les postes entre eux. À l'intérieur d'un poste, on trouve pour chaque niveau de tension un jeu de barre qui relie les départs lignes et les départs transformateurs.

##### ➤ Les lignes électriques :

Les lignes électriques assurent la fonction « transport de l'énergie » sur les longues distances. Elles sont constituées de 3 phases, et chaque phase peut être constituée d'un faisceau de plusieurs conducteurs (de 1 à 4) espacés de quelques centimètres afin de limiter l'effet couronne qui entraîne des pertes en lignes, différentes des pertes Joule. L'ensemble de ces 3 phases électriques constitue un terne.



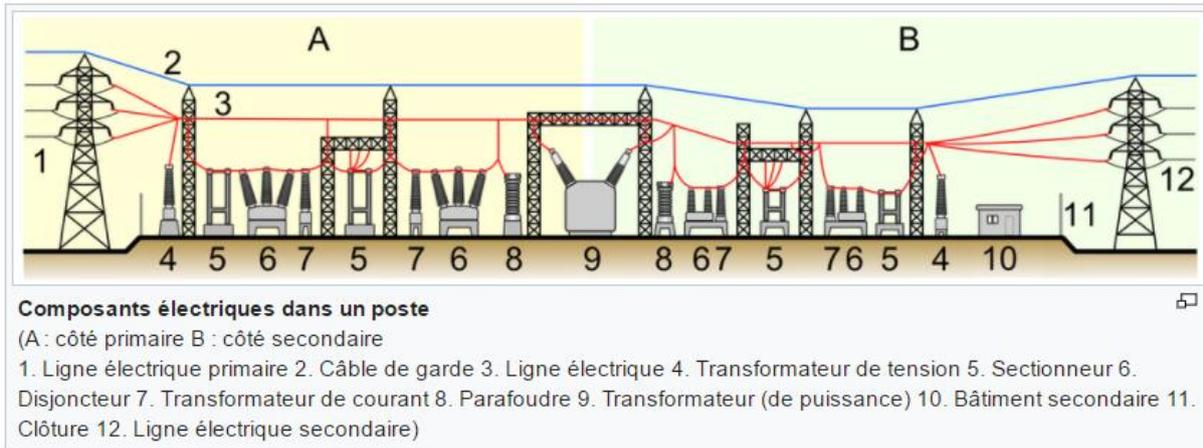
**Figure4 : les lignes électriques**

##### ➤ Les postes électriques :

Nœuds stratégiques du réseau, les postes électriques ressemblent à des gares de triage où nous orientons l'électricité sur le réseau de transport en utilisant des technologies très pointues. Avec l'utilisation des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Consommation (NTIC) et le

développement de nouveaux logiciels de traitement des données, les postes électriques deviennent de plus en plus intelligents.

Les postes électriques reçoivent l'énergie électrique, la transforment et la répartissent. Certains d'entre eux sont comparables à des échangeurs entre une autoroute et une route nationale ou départementale. Ce sont les «postes sources» qui, en abaissant la haute et très haute tension en moyenne ou basse tension, permettent à l'électricité de passer du réseau de transport au réseau de distribution.



**Figure5 : poste électriques**

### ➤ Les transformateurs de puissance :

On trouve sur les réseaux électriques deux types de transformateurs de puissance :

- les autotransformateurs qui n'ont pas d'isolement entre le primaire et le secondaire. Ils ont un rapport de transformation fixe quand ils sont en service, mais qui peut être changé si l'autotransformateur est mis hors service.
- les transformateurs avec régleurs en charge sont capables de changer leur rapport de transformation quand ils sont en service. Ils sont utilisés pour maintenir une tension constante au secondaire (la tension la plus basse) et jouent un rôle important dans le maintien de la tension.



**Figure6 : Transformateur de puissance**

### 3.3 Introduction au transformateur de puissance :

Un transformateur de puissance est un composant électrique haute-tension essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la commission électrotechnique internationale est la suivante : « Appareil statique à deux enroulements ou plus qui, par induction électromagnétique, transforme un système de tension et courant alternatif en un autre système de tension et courant de valeurs généralement différentes, à la même fréquence, dans le but de transmettre de la puissance électrique ». Sa principale utilité est de réduire les pertes dans les réseaux électriques. Il peut être monophasé ou triphasé et recevoir divers couplages : étoile, triangle et zigzag.

On retrouve les transformateurs de puissance dans différents types d'applications : dans les réseaux de transmission électrique, dans la distribution électrique, dans les usines en amont de fours électriques notamment et dans les trains. Chacun répondant à des contraintes et des usages très différents.

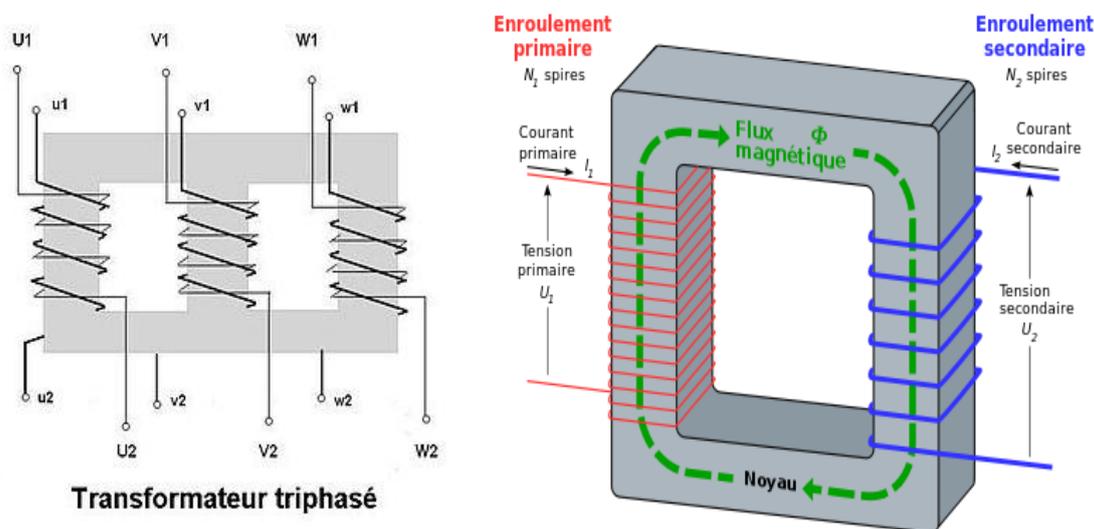


Figure 7 : Transformateur triphasé

### 3.4 Le rôle et l'objectif général de transformateur de puissance :

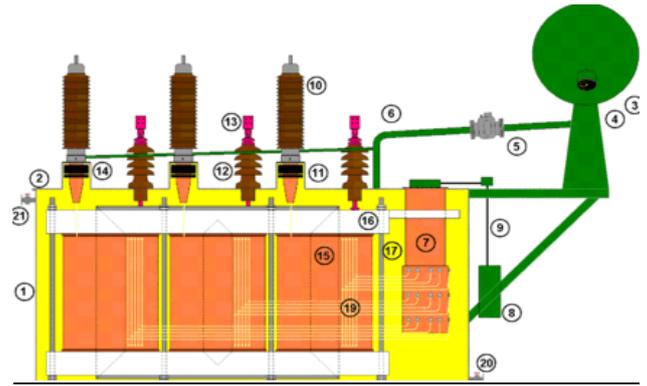
Généralement, un mécanisme de bobines lui permet de délivrer une tension de sortie différente de la tension d'entrée, mais de même fréquence et de même forme. Le transport d'électricité entraîne des pertes dues à l'effet Joule, qui dépendent de l'intensité  $I$ , de la tension  $U$  et de la résistance  $R$  de la ligne, donc l'objectif premier des transformateurs de puissance dans les réseaux électrique est donc d'élever la tension à des niveaux élevés pour transporter l'électricité avec le minimum de pertes.

### 3.5 Composants associés au transformateur de puissance :

En plus de son noyau magnétique, de ses enroulements et de son isolation, un transformateur dispose de nombreux composants secondaires. Certains sont indispensables comme un dispositif permettant la dilatation de l'huile (le conservateur est présenté ici), d'autres ne le sont pas comme le changeur de prises. Ceux présentés ici correspondent à un transformateur de puissance « classique ».

Sur le schéma ci-contre sont représentés :

1. Couvercle
2. Conservateur
3. Indicateur de niveau d'huile
4. Relais Buchholz
5. Tuyau d'huile
6. Changeur de prises
7. Moteur électrique du changeur de prises
8. Transmission mécanique du changeur de prises
9. Traversée du primaire, avec connexion à son extrémité
10. Dôme avec transformateurs de courant à l'intérieur
11. Traversée du secondaire
12. Connexion du secondaire avec l'extérieur
13. Dôme avec transformateurs de courant à l'intérieur
14. Enroulements
15. Noyau magnétique
16. Élément mécanique maintenant le noyau magnétique et les enroulements ensemble exerçant une force de compression
17. (non représenté)
18. Connexion du changeur de prises aux enroulements
19. Robinet d'huile
20. Robinet d'air



**Figure8 : Composants d'un transformateur de puissance**

On peut y ajouter l'huile, l'isolation papier et le système de refroidissement qui ne sont pas représentés.

### 3.6 Protections électriques :

#### 3.6.1 Protection MASSE CUVE :

Le transformateur est isolé, par rapport à la terre, donc il n'y a pas risques d'incidents. Mais comme le transformateur est constitué par des pièces métalliques reliées entre-elles, il se peut qu'un enroulement touche la carcasse de ce dernier, et ceci pose une contradiction avec l'hypothèse ci-dessus.

Donc pour remédier à ce problème, il est prévu une borne de traversée reliée à la terre par une connexion en cuivre passant par un transformateur de courant « TC » sous forme torique. Ce dernier alimente un relais de courant, qui en cas de fonctionnement assure le déclenchement instantané des disjoncteurs et la signalisation déclenchement masse cuve.

Cette protection est assurée aussi si les défauts sont externes (orages) en provoquant l'amorçage aux éclateurs des traversées.

### 3.6.2 Protection DIFFERENTIELLE :

Elle vérifie la constance du rapport qui existe entre les intensités primaires et secondaires issues d'une même colonne, ce rapport reste constant tant qu'un incident n'apparaît pas. Elle est efficace et sensible contre les courts-circuits entre spires, entre enroulements et masse.

### 3.6.3 Protection MANQUE DE CIRCULATION D'HUILE :

Pour les transformateurs dont le refroidissement est à circulation forcée ODAF, un arrêt d'une pompe entraînera une élévation rapide de la température d'huile.

Afin d'éviter tout échauffement nuisible au transformateur, une protection installée sur l'indicateur de circulation d'huile entraîne une signalisation défaut pompe au bout de 5 minutes. Si l'indicateur ne revient pas en position de repos, et si l'échauffement persiste au bout de 20 minutes la protection envoie un ordre de déclenchement au transformateur.

### 3.6.4 Protection MAXIMUM DE COURANT :

La protection maximum d'intensité est utilisée pour protéger le transformateur contre les défauts entre phases et les défauts à la terre. La détection des défauts entre phases des (surintensités) est assurée au moyen du relais instantané à maximum de courant et celle des défauts à la terre par un relais homopolaire instantané à maximum d'intensité, les relais comportent chacun deux contacts à fermeture dont l'un assure l'excitation du relais chronométrique à temporisation réglable et l'autre est destiné à la mise en route du dispositif de réenclenchement automatique et à l'envoi de la signalisation « Max I ».

## 3.7 PROTECTIONS MECANIQUES :

### 3.7.1 Protection BUCCHOLZ :

Tout défaut à l'intérieur d'un transformateur prolongé dans un diélectrique liquide qui assure à la fois l'isolement et le refroidissement produit un dégagement gazeux provenant de la décomposition des isolants sous l'action d'arc électrique.

Pour assurer cette protection il faut utiliser et insérer un relais Bucchholz dans une tubulure, ce relais détecte la formation de gaz dans la cuve indice d'un défaut quelconque. Elle est efficace contre tous les défauts internes dès le début de l'incident.

### 3.7.2 Protection par SOUPAPE :

L'huile du transformateur contenue dans la cuve peut devenir dangereuse lorsque la pression augmente à l'intérieur de la cuve. Une soupape de sûreté est placée à la partie la plus haute de la cuve qui décèle rapidement la suppression en cas de court-circuit par exemple. Le temps d'ouverture de cette soupape est très petit et ne permet en aucun cas l'infiltration d'eau ou d'impureté à l'intérieur du transformateur.

### 3.7.3 Protection THERMOMETRIQUE :

Cette protection qui est basée sur la température d'huile dans la cuve, assure la fermeture d'un contact d'alarme à 60° et un autre de déclenchement à 90°. L'élément de mesure est constitué par un thermomètre à cadran.

### 3.7.4 Protection Régleur (changeur de prise en charge) :

Ce commutateur est de forme tubulaire et peut être ainsi facilement disposé dans la cuve du transformateur.

Il est constitué par trois parties principales :

- La tête du commutateur avec le récipient d'huile et le collecteur D'huile polluée,
- Le changeur de prises insérable,
- Le servomoteur

La tête du commutateur est le support principal pour l'ensemble des constitutions du régleur, il est monté sur le couvercle du transformateur avec l'interposition d'un joint. L'alimentation d'huile se fait à la tête du régleur par l'intermédiaire d'un tuyau qui va au réservoir d'expansion commun. Dans ce tuyau est installé le relais de protection du régleur fonctionnant en cas de surpression au niveau d'huile du transformateur et celle du régleur.

Le changeur de prise se trouve implanté à l'intérieur du récipient d'huile, il est séparé de l'huile du transformateur par un système de filtrage très particulier.

Le passage du courant se fait au moyen de contacts coulissants, de ce fait le changeur de prise peut être en haut en cas de vérification ou de maintenance.

La partie supérieure se trouve à la tête du changeur de prises avec une roue dentée qui prend prise avec la vis sans fin lorsqu'on la met en place dans la tête du régleur. Ce mécanisme comporte l'indication de position mécanique et le disque numéroté de positions.

Dans le cas de changeur de prise avec inverseur, celui-ci est logé dans le cylindre support et a également des contacts coulissants pour le raccordement de l'enroulement de réglage.

Le régleur a pour rôle d'augmenter ou de diminuer les nombres d'enroulements primaire, à cet effet, lorsqu'une surcharge se produit au niveau du réseau (surcharge dû à l'augmentation de la demande de charge lors des heures de pointes) et pour éviter tout déclenchement du transformateur, le régleur procède au changement de prises par ordre du régulateur.

## 3.8 Les défauts :

Les défauts dans les transformateurs sont de quatre types : les surcharges, les courts-circuits, les défauts à la masse et les surfluxages. Dans le premier cas, l'intensité traversant le transformateur devient trop grande, ce qui conduit à une augmentation de la température interne du transformateur ce qui est nuisible à la durée de vie. Les courts-circuits sont eux de deux types : interne et externe. Les premiers sont dus à des arcs entre les enroulements, ils entraînent une dégradation rapide de l'huile et la formation de gaz qui peuvent mener à des incendies ou à l'explosion du transformateur. Les seconds entraînent principalement une forte contrainte mécanique sur les enroulements et peuvent s'ils sont prolongés mener à un court-circuit interne. Les défauts à la masse sont comparables aux courts-circuits internes avec une connexion entre le bobinage et le noyau ou la cuve. Un autre défaut à éliminer est le surfluxage, c'est-à-dire une hausse du flux magnétique dans le noyau de fer du transformateur. Il est causé soit par une surtension, soit par une baisse de la tension.

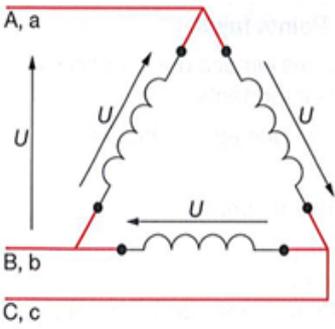
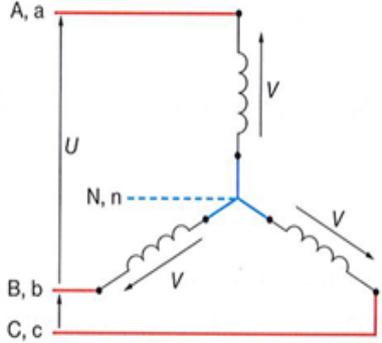
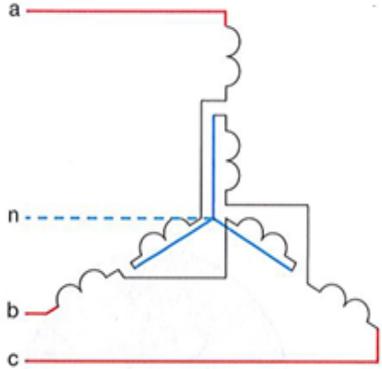
Dans tous les cas, si un défaut est détecté, il convient de déconnecter au plus vite le transformateur. Concrètement un relais envoie un ordre d'ouverture (de déclenchement) au disjoncteur relié au transformateur.

# 4 Etude Théorique

4.1 Modélisation des transformateurs . . . . .	p.19
4.1.1 Couplages . . . . .	p.19
4.1.2 Rapport de transformation . . . . .	p.19
4.1.3 Indice horaire . . . . .	p.19
4.1.4 Essai des Transformateurs à vide. . . . .	p.20
4.1.5 Essai Transformateur en court-circuit. . . . .	p.21
4.2 Couplage des transformateurs en parallèle. . . . .	p.22
4.3 Conditions de couplage en parallèle . . . . .	p.23
4.2.1 Même rapport de transformation . . . . .	p.23
4.2.2 Même courant de court-circuit . . . . .	p.24
4.2.3 Indices horaires compatibles . . . . .	p.24
4.4 Impact sur le réguler de tension . . . . .	p.25
4.5 Les contraintes de la mise en parallèle . . . . .	p.30

4.1. Modélisation des transformateurs :

4.1.2 Couplages

Couplage Triangle	Couplage étoile	Couplage Zig-Zig
 <p data-bbox="204 792 571 987">Utiliser aussi bien au primaire qu'au secondaire, on retrouve la tension composée entre phases et aux bornes des enroulements Il n'est pas possible de sortie le neutre</p>	 <p data-bbox="593 792 1007 987">Utiliser aussi bien au primaire qu'au secondaire, on retrouve la tension simple aux bornes d'un enroulement et la tension composée entre phases. Le point commun des enroulements peut être utilisé comme neutre</p>	 <p data-bbox="1050 808 1445 972">Uniquement utilisé au secondaire, il permet de réduire le déséquilibre des phases sur le réseau HTA Ce couplage permet de disposer d'un point neutre</p>

**Figure9 : Couplage de transformateur**

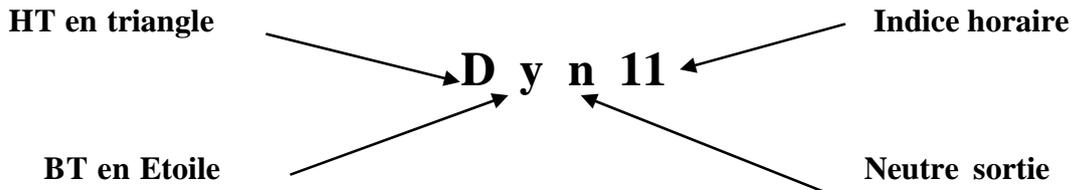
Les couplages Étoile-étoile, Triangle-étoile et Étoile-Zigzag sont les couplages normalisés.

Les critères généraux qui permettent de justifier tel ou tel autre couplage s'appuient sur le fait que :

- Aux très hautes tensions, il vaut mieux utiliser un couplage étoile afin de réduire la tension supportée par chaque bobine.
- Pour les très forts courants, le montage triangle est préférable afin de réduire le courant par la bobine.
- Le montage triangle est à éviter au secondaire afin d'empêcher les courants de circulation dus à une légère dissemblance des bobines.
- Lorsque la charge risque d'être déséquilibrée, il vaut mieux utiliser :
  - un Yyn (l'indice n signifiant que le neutre est disponible) si  $I_N < 10\% I$  ;
  - un Yzn si le déséquilibre est plus fort ;
  - un DYn pour les très forts déséquilibres et un poids de cuivre limité

4.1.3 Indice horaire :

L'association d'un mode de connexion HT avec un mode de connexion BT caractérise un couplage de transformateur.



QU'EST-CE-QUE L'INDICE HORAIRE ?

L'indice horaire indique le déphasage entre la tension (BT) et la tension (HT) d'une même colonne. C'est un angle compté dans le sens horaire. Il est égal au produit de l'indice par 30°

Cas particuliers de désignations :

- Neutre sorti côté HT : YN ou ZN
- Transformateur à trois enroulements : D, yn1, y1
- Transformateur à trois enroulements : Y, yn0, zn1

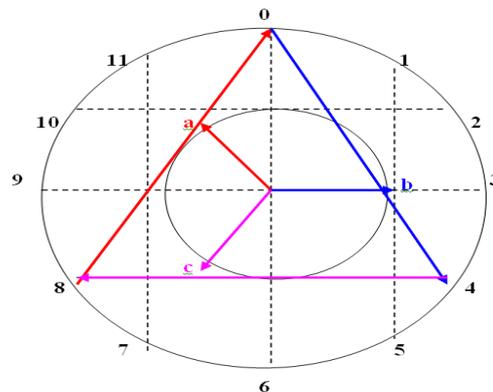


Figure10 : Indice horaire

4.1.4 Essai des Transformateurs à vide :

Le primaire du transformateur est alimenté sous sa tension nominale, le secondaire n'est pas relié. Le courant primaire étant faible, on peut considérer les pertes joules négligeables. La puissance absorbée correspond aux pertes fer. Cet essai permet de déterminer le rapport de transformation. Il permet également de calculer les impédances  $R_f$  et  $X_p$  du schéma monophasé.

Les valeurs mesurées à l'aide de l'essai à vide sont :

- $V_1$  Tension côté primaire
- $V_{20}$  Tension côté secondaire
- $I_{10}$  Courant primaire à vide
- $p_0$  Puissance nominale à vide

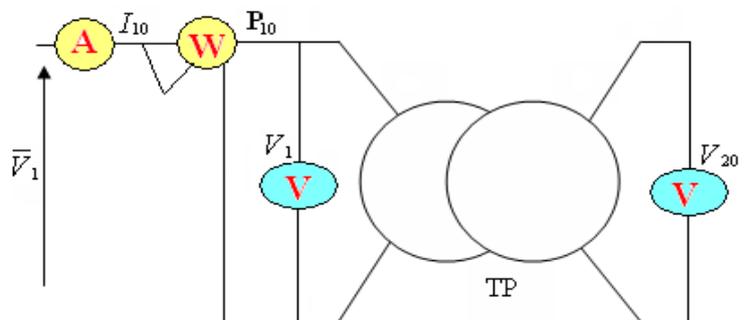


Figure11 : Essai à vide d'un transformateur

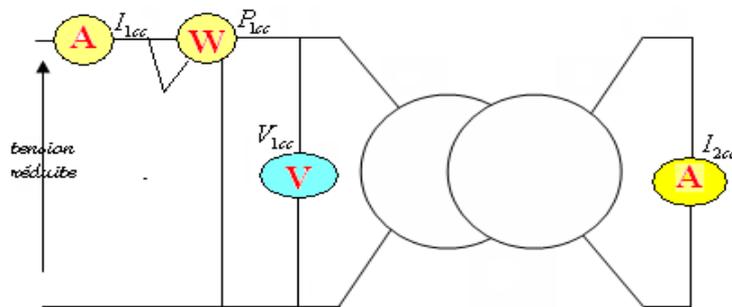
Et par conséquent on peut calculer les valeurs

↪  $m = \frac{V_{20}}{V_1}$  le rapport de transformation

$k = \frac{n_2}{n_1} \approx \frac{1}{m}$  le rapport des nombres des spires secondaires et primaires

**4.1.5 Essai Transformateur en court-circuit :**

Le primaire du transformateur est alimenté sous tension réduite. Le secondaire est en court circuit et les courants sont proches des valeurs nominales. La tension d'alimentation étant faible, les pertes fer seront négligées. La puissance absorbée correspond aux pertes joules. Cet essai permet de déterminer la tension de court circuit du transformateur et les impédances  $R_s$  et  $X_s$  du schéma monophasé équivalent.



**Figure12 : Essai en court-circuit d'un transformateur**

A savoir :

- ↪ Le wattmètre nous permet de mesurer la puissance de court-circuit  $P_{cc}$
- ↪ Le voltmètre a pour rôle de mesurer la tension de court-circuit côté primaire  $V_{1cc}$  pour  $I_{1cc} = I_{1n}$
- ↪ L'ampèremètre nous donne la valeur du courant de court-circuit  $I_{1cc}$

Ces différentes valeurs nous permettront de calculer les pertes par effet de Joule. Ainsi que l'impédance du transformateur ramené au secondaire  $Z_{t2}$ .

La puissance active fournie a pour expression :

$$P_{cc} = R_{t2} I_{2cc}^2 = R_{t1} I_{1cc}^2$$

D'autre part :  $R_{t2} = \frac{P_{cc}}{I_{2cc}^2}$

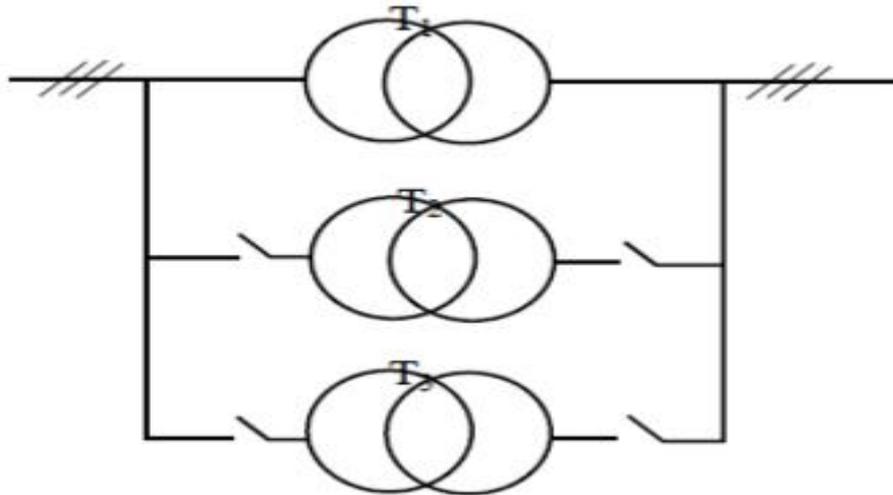
$$x_{t2} = \sqrt{\frac{(mV_{1cc})^2}{I_{2cc}^2} - r_{t2}^2}$$

## 4.2 Couplage des transformateurs en parallèles :

Les transformateurs des postes électriques primaires sont souvent exploités en parallèle pour renforcer la sécurité de l'alimentation. La configuration type est d'avoir trois transformateurs adjacents dans un poste, alimentant un jeu de barres commun.

Une commutation est prévue pour permettre de séparer les transformateurs en vue de la maintenance mais en règle générale, les transformateurs opèrent en parallèle. Il y a deux cas ou les transformateurs ne sont pas identiques, d'autres ou les transformateurs en parallèle sont séparés de plusieurs kilomètres.

Dans la pratique, il est souvent nécessaire d'exploiter deux ou plusieurs transformateurs a changement de prise, raccordes en parallèle entre des jeux de barres.



**Figure13 : Connexion des transformateurs en parallèle**

Le courant de charge total est reparti entre les transformateurs en raison inverse des impédances et pour des transformateurs identiques, il y a maintes façons de contrôler des groupes de transformateurs mis en parallèle, toutes les méthodes utilisées pouvant se regrouper dans les deux catégories suivantes :

- ✓ Méthodes faisant appel à un seul régulateur de tension pour exploiter un groupe de régulateurs en charge
- ✓ Méthodes utilisant un régulateur de tension pour chaque transformateur

## 4.3 Condition de couplage en parallèle :

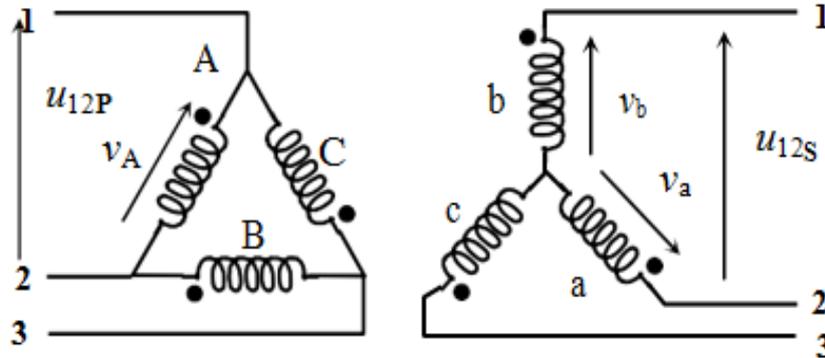
### 4.3.1 Même rapport de transformation :

Comme en monophasé, le rapport de transformation est le rapport des tensions à circuit secondaire ouvert.

$$m = \frac{U_{s0}}{P_{s0}} = \frac{V_{s0}}{V_{p0}} \quad \text{Avec} \quad (I_{s0} = 0)$$

Il s'obtient lors de l'essai à circuit secondaire ouvert. La valeur est la même que l'on prenne les deux tensions simples ou les deux tensions composées (mais pas un mélange composée et simple).

Alors qu'en monophasé « m » valait également que le rapport des nombres de spires, en triphasé, il faut également tenir compte du couplage. La loi de Faraday permet d'établir que le rapport des tensions de deux bobines est bien le rapport des nombres de spires, mais une bobine ne donne pas forcément la tension entre phases.



$$\frac{V_a}{V_A} = \frac{n_a}{n_A} \quad \text{Mais} \quad V_A = U_p \quad \text{et} \quad V_a = U_s = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Ce qui donne} \quad m = \sqrt{3} \frac{n_a}{n_A}$$

Si  $n_p$  et  $n_s$  sont les nombres de spires par bobine du primaire et du secondaire .

**Tableau de rapports de transformation :**

primaire secondaire	Étoile	Triangle
Étoile	$\frac{n_s}{n_p}$	$\sqrt{3} \frac{n_s}{n_p}$
Triangle	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_s}{n_p}$	$\frac{n_s}{n_p}$
Zigzag	$\sqrt{3} \frac{n_s}{n_p}$	$3 \frac{n_s}{n_p}$

### 4.3.2 Même courant de court circuit :

Le courant de court circuit est donné par :

$$I_{cc} = \frac{I_n \times 100}{U_{cc}} \quad \text{Avec} \quad I_n = \frac{P \times 10^3}{U_{20} \times \sqrt{3}}$$

- P = puissance du transformateur en kVA,
- $U_{20}$  = tension phase-phase secondaire à vide en volts,
- $I_n$  = intensité nominale en ampères,
- $I_{cc}$  = intensité du courant de court-circuit en ampères,
- $U_{cc}$  = tension de court-circuit en %.

Prenons deux transformateurs de tensions de court circuit différents, on met les deux secondaires des transformateurs en court circuit.

Si le premier transformateur a 10V au primaire, on obtient 2A au secondaire, et que pour le deuxième transformateur à 40 V au primaire, on obtient ce même courant de 2A. Cela veut dire que le premier transformateur est beaucoup plus puissant que le deuxième transformateur.

Donc si on les met en parallèle, le premier transformateur comme il est beaucoup puissant, il sera utilisé à 100%, et le deuxième sera utilisé à 40% par exemple. Donc l'usage ne sera pas équilibré.

### 4.3.3 Indices horaires compatibles :

La compatibilité des indices horaires a pour but de pouvoir coupler les transformateurs de façon à avoir les tensions secondaires en phase. Si les tensions des secondaires ne sont pas en phase, alors on ne peut pas les mettre en parallèle.

Pour se mettre en phase, on se sert des indices horaires des transformateurs.

Supposons trois transformateurs d'indices horaires différents :

\*le premier est de (1)

\*le deuxième est de (5)

\*le troisième est de (9)

En se basant sur le diagramme de Fresnel suivant :

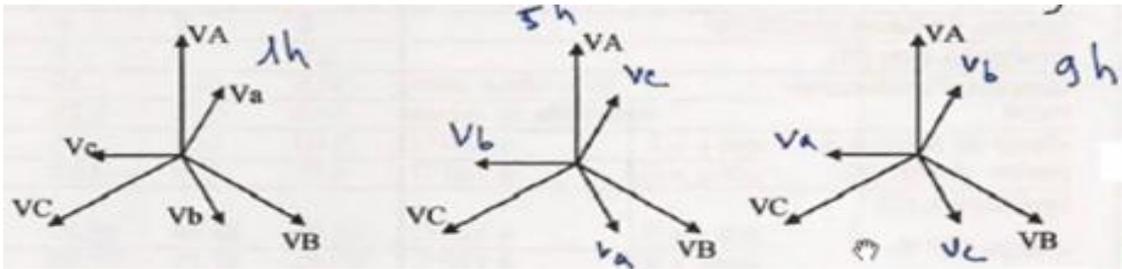


Figure14 : diagramme de Fresnel

On obtient le couplage des trois transformateurs en parallèle si dessous :

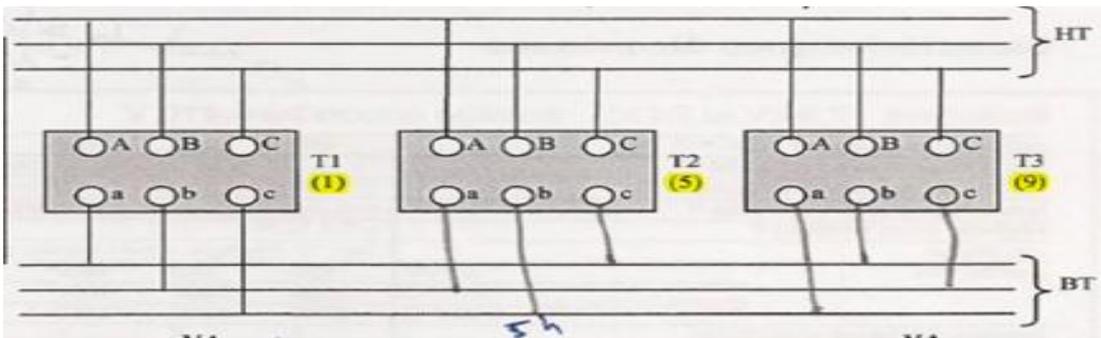


Figure15 : Couplage des trois transformateurs en parallèle

#### 4.4 Impact sur le réguler de tension :

##### Condition de déphasage de Transformateur mis en parallèle :

La condition de déphasage de deux Transformateurs de régulation ou plusieurs en parallèle conduit à un chargement différent des Transformateurs et OLTC(Changeur de prise). En plus de l'effet de différence de charge causé par la différence des tensions au niveau des impédances décrites auparavant, un courant transitoire est généré par la différence de tension entre les transformateurs. Ces courants transitoires sont superposable au niveau du courant nominal et influence le basculement au niveau de l'OLTC (Changeur de prise). Lors de l'évaluation des conditions de basculement, non seulement le courant de commutation, mais aussi, il faut tenir compte du déphasage créé au moment de l'inversion des contacts.

La phase entre le courant commuté et la tension de récupération en cours à la distance de contact d'ouverture est généralement inférieure à  $2^\circ$  et peut être négligée. Ceci est différent dans le cas des transformateurs connectés en parallèle avec différentes tensions de sortie (lorsque les transformateurs sont en mode déphasé).

Dans ce qui suit, ces conditions de rupture critiques sont évaluées pour un type de résistance OLTC sous la condition que deux transformateurs soient en mode déphasés et l'un des OLTC effectuent un changement de prise.

- **Rupture du contact de commutation principal :**

Au contact d'ouverture à distance, il se produit un déphasage entre le courant commuté et la tension de récupération, provoquée par le courant de circulation entre les transformateurs en parallèle.

• **Rupture du dernier contact de transition du côté de l'ouverture :**

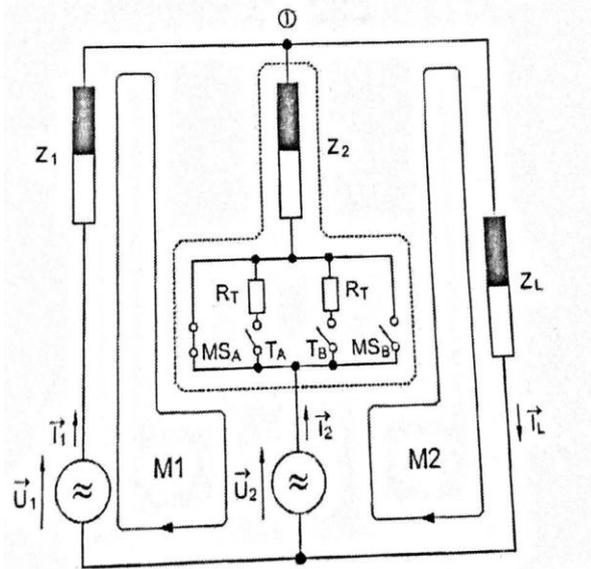
Dans ce cas aussi, le courant commuté et la tension de récupération sont en panne. Cependant, cette opération n'est pas critique. Si le commutateur de dérivation n'est pas capable de briser le courant au contact de transition dans le premier zéro actuel, alors une seconde tentative pour éteindre l'arc se produit dans le zéro actuel suivant. Lorsque le contact de commutation principal de la fermeture, les conditions de changent. Maintenant, le contact de transition est chargé uniquement par le courant de circulation entraîné par la tension de pas et les contacts peuvent briser le courant dans des conditions plus faciles

• **Rupture du dernier contact de transition en cas de commutateurs de dérivation de type à résistance multiple :**

Également pendant cette opération, un déphasage se produit entre le courant commuté et la tension de récupération. Avec la même explication donnée dans B. cette opération de rupture peut être estimée non critique.

En résumant ce qui précède, on peut affirmer que la condition décalée des transformateurs fonctionnant en parallèle conduit à des contraintes de rupture différentes aux contacts de commutation principaux. Ce fait doit être considéré avec soin.

La figure 16 montre un réseau électrique équivalent pour l'état décalé de deux transformateurs connectés en parallèle, tous les deux équipés d'OLTC. Ce réseau électrique équivalent peut être utilisé dans la condition où un OLTC est dans une position fixe (transformer1) tandis que le second OTLC transporte une opération de changement de prise (transformer2)



**Figure16 : Deux transformateurs en parallèle**

Les équations basiques du réseau sont données dans la figure suivante :

D'après la première boucle : 
$$\vec{U}_1 + \vec{I}_1 \cdot Z_1 - \vec{I}_2 \cdot Z_2 - \vec{U}_2 = 0$$

D'après la deuxième boucle : 
$$\vec{U}_2 + \vec{I}_2 \cdot Z_2 - \vec{I}_L \cdot Z_L = 0$$

D'après le nœud (1) : 
$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = \vec{I}_L \rightarrow \vec{I}_1 = \vec{I}_L - \vec{I}_2$$

En transformant ces équations, on obtient le courant dans le transformateur sous forme :

$$\vec{I}_2 = \frac{\vec{U}_1 \cdot Z_L - \vec{U}_2 \cdot (Z_L + Z_1)}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_L + Z_2 \cdot Z_L}$$

$\vec{U}_1$  : Tension du transformateur 1

$\vec{U}_2$  : Tension du transformateur 2

$Z_1$  : Impédance du transformateur 1 ( $Z_1 = R + jX_1$ )

$Z_2$  : Impédance du transformateur 2 ( $Z_2 = R_2 + jX_2$ )

$Z_L$  : Impédance de la charge ( $Z_L = R_L + jX_L$ )

Avec ces relations on obtient :

$$\vec{I}_2 = \frac{U_1 \cdot (R_L + jX_L) - U_2 \cdot (R_L + R_1 + jX_L + jX_1)}{(R_1 + jX_1) \cdot (R_2 + jX_2) + (R_1 + jX_1) \cdot (R_L + jX_L) + (R_2 + jX_2) \cdot (R_L + jX_L)}$$

En séparant cette expression en ses composants réels et imaginaires, un dénominateur important apparaît :

$$D = [R_1(R_2 + R_L) - X_1X_2 + R_2R_L - (X_1 + X_2)X_L]^2 + [X_1(R_2 + R_L) + X_2(R_1 + R_L) + X_L(R_1 + R_2)]^2$$

On obtient le composant réel suivant :

$$\text{Re}(\vec{I}_2) = \frac{[U_1R_L + U_2(R_L + R_1)][R_1(R_2 + R_L) - X_1X_2 + R_2R_L - (X_1 + X_2)X_L]}{D} + \frac{[U_1X_L - U_2(X_L + X_1)][X_1(R_2 + R_1) + X_2(R_1 + R_L) + X_L(R_1 + R_2)]}{D}$$

Et le composant imaginaire comme suit :

$$\text{Im}(\vec{I}_2) = \frac{[U_1X_L + U_2(X_L + X_1)][R_1(R_2 + R_L) - X_1X_2 + R_2R_L - (X_1 + X_2)X_L] - [U_1R_L - U_2(R_L + R_1)][X_1(R_2 + R_1) + X_2(R_1 + R_L) + X_L(R_1 + R_2)]}{D}$$

Avec :  $|\vec{I}_2| = \sqrt{[\text{Re}(\vec{I}_2)]^2 + [\text{Im}(\vec{I}_2)]^2}$  et  $\varphi_2 = \text{arctg} \frac{\text{Im}(\vec{I}_2)}{\text{Re}(\vec{I}_2)}$

La valeur absolue  $|\vec{I}_{2A}|$  du courant dans le transformateur 2 et son angle de phase  $\varphi_{2A}$  après la rupture du contact de commutation principal peuvent être déterminée. L'angle de phase est exprimé par rapport à l'axe réel respectivement à la tension U1 et U2.

Calcul de du changement de courant du transformateur 2 après le changement du contact principal :

$\vec{U}_1$  : Tension du transformateur 1

$\vec{U}_2$  : Tension du transformateur 2

$Z_1$  : Impédance du transformateur 1 ( $Z_1 = R + jX_1$ )

$Z_2$  : Impédance du transformateur 2 ( $Z_2 = R_2 + jX_2$ )

$R_T$  : Résistance de transition efficace (Dans le cas de commutateurs de dérivation de type à résistance multiple, la transition effective est la connexion parallèle de la première et de la seconde résistance)

$Z_L$  : Impédance de la charge ( $Z_L = R_L + jX_L$ )

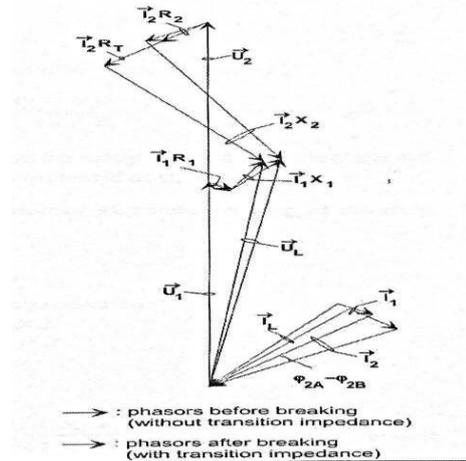
Dans les relations précédente on remplace  $R_2$  par  $R_2 + R_T$

La valeur absolue  $|\vec{I}_{2B}|$  du courant dans le transformateur 2 et son angle de phase  $\varphi_{2B}$  après la rupture du contact de commutation principal peuvent être déterminée. L'angle de phase est exprimé par rapport à l'axe réel respectivement à la tension U1 et U2.

La différence entre les deux angles de phase  $\varphi_{2B}$  et  $\varphi_{2A}$  représente le déphasage entre le courant commuté et la tension de récupération.  $\varphi_U = \varphi_{2B} - \varphi_{2A}$

La figure suivante représente le diagramme de phase avant et après la rupture du contact de commutation principal.

Le déphasage autorisé à la capacité de commutation nominale dépend de la conception de l'OLTC. Par conséquent, le fabricant doit être contacté pour évaluer les contraintes découlant.



**Figure 17 : Diagramme de phase avant et après la rupture du contact**

Basé pour le calcul ils sont deux transformateurs identiques avec la note suivante :

$$60\text{MVA}, 50\text{Hz}, 10\text{kV}, (1 \pm 16.0.625\%)/30\text{kV}$$

Le courant de court circuit est de :

$$U_{cc} = 10\%$$

Avec cela, les impédances des transformateurs peuvent être calculées par :

$$|Z_1| = |Z_2| = \frac{U_{cc} \cdot U_m^2}{P} = \frac{0.1 * (110\text{kV})^2}{60\text{MVA}} = 20.17\Omega$$

Par exemple, R1 et R2 sont supposés être de  $1,5\Omega$  , avec ca,  $X_1$  et  $X_2$  doivent être  $20.1\Omega$  (afin d'atteindre  $20.17\Omega$  pour  $Z_1$  et  $Z_2$ )

L'impédance de charge peut être calculée pour le courant nominal par :

$$|Z_L| = \frac{U_m^2}{2 \cdot P} = \frac{(110\text{KV})^2}{2 \cdot 60\text{MVA}} = 252.08\Omega$$

Avec un facteur de puissance de 0.8  $R_L$  et  $X_L$  devient :

$$R_L = 201.6\Omega \quad X_L = 151.2\Omega$$

Supposons l'oltc du transformateur 1 
$$U_1 = \frac{110\text{KV}}{\sqrt{3}} \cdot (1 - 10 \cdot 0.625\%) = 59.54\text{KV}$$

Et du transformateur 2 : 
$$U_2 = \frac{110\text{KV}}{\sqrt{3}} \cdot (1 + 10 \cdot 0.625\%) = 67.48\text{KV}$$

Avec une résistance de transition  $R_T = 4.2\Omega$  et les valeurs précédentes, Les valeurs absolues et les angles de phase du courant du transformateur 2 avant et après la rupture du commutateur principal seront déterminées comme suit :

Avant la rupture :  $|\vec{I}_{2A}| = 294.35A$  et  $\varphi = -67,93^\circ$

Après la rupture :  $|\vec{I}_{2B}| = 289.57A$  et  $\varphi = -61,92^\circ$

Le déphasage est de la forme :  $\Delta\varphi_U = \varphi_{2A} - \varphi_{2B} = 6.01^\circ$

En faisant varier les valeurs de la résistance de transition, on peut facilement reconnaître que le déphasage augmente avec l'augmentation de la valeur de la résistance de transition.

#### 4.5 Les contraintes de la mise en parallèle :

Le couplage des trois transformateurs en parallèle entraîne plusieurs difficultés qui se caractérisent en :

- Le pouvoir que l'un des transformateurs débite dans l'autre. En autre sens, l'un des transformateurs devient générateur et l'autre devient récepteur.
- Le risque que l'un des transformateurs ne fonctionne pas a son courant nominal, donc ne pas être utilisé a 100%.
- La naissance du courant de circulation résulte l'échauffement dangereux des transformateurs.
- La chance de ne pas avoir le secondaire des transformateurs en phase .

# **5 Etude de cas : Transformateurs installés à poste ELOUALI**

5.1 Présentation du poste ELOUALI. ....	p.32
5.2 Identification des transformateurs installés à ELOUALI. ....	P.32
5.3 Application. ....	p.33
5.3.1 Mesure. ....	p.33
5.3.2 Application. ....	p.35
5.4 Conclusion. ....	p.36
5.5 Solution proposées. ....	p.36

## 5.1 Présentation de poste ELOUALI :

Le poste ELOUALI est un poste THT/HT alimentant la ville de Fès constituée de 4 niveau de tension : la tension source 225KV et les tensions d'arrivée secondaires 60KV et 11KV et 5,5 KV

(Voir Annexe A.2 on se limite aux transformateurs 225 /60KV).

Le poste dispose des travées suivantes :

- 3 travée départs 225 KV : N°25-59 ALLAL EL FASSI, N°25-114 TAZA II, N°25-6 TOULAL.
- 5 travées transformateur : trois de puissances (225/60 /11KV) N°1, N°2 et N°8 de 100 MVA chacun MVA qui marchant en parallèle pour alimenter le jeu de barres 60 KV. Et deux transformateurs 60/5,5KV N°3 de puissance 500 KVA et 11/5,5 KV N°6 de puissance 1,2MVA qui marchent en alternance pour alimenter les départs 5,5 KV cités ONE et les services auxiliaires du poste EL OUALI.
- 9 travées des départs 60kV alimentées du jeu de barres 60 KV, N°221 ELOUATA, N°37-1 MATMATA, N°199 IDRIS 1<sup>er</sup>, N°91et 267 SAIS N°280 FES OUEST, N°280 FES SUD et N°27- 71 FES AMONT.

## 5.2 Identification des transformateurs installés à ELOUALI.

Sur la plaque signalétique d'un transformateur donné est défini les principales caractéristiques de celui-ci, mais en réalité chaque transformateur peut, plus au moins (selon le fabricant), avoir ces caractéristique défini comme suit :

- Type,
- Tension des enroulements secondaires et primaires,
- Fréquence nominale,
- Tension de tenue à fréquence industrielle,
- Tension de tenue aux chocs de Foudre (phase terre),
- Le groupe de couplage des enroulements secondaires et primaires,
- La puissance nominale,
- Mode de refroidissement,
- Nombre de prise de réglage et l'étendue de prise,
- Isolement des enroulements primaires et secondaires,
- Le courant de court-circuit,
- La tension de court-circuit,

- Le niveau de bruit garanti,
- Puissance et courant à vide.

### 5.2.1 Définition des principales caractéristiques des transformateurs de puissance :

Les principales caractéristiques d'un transformateur de puissance sont :

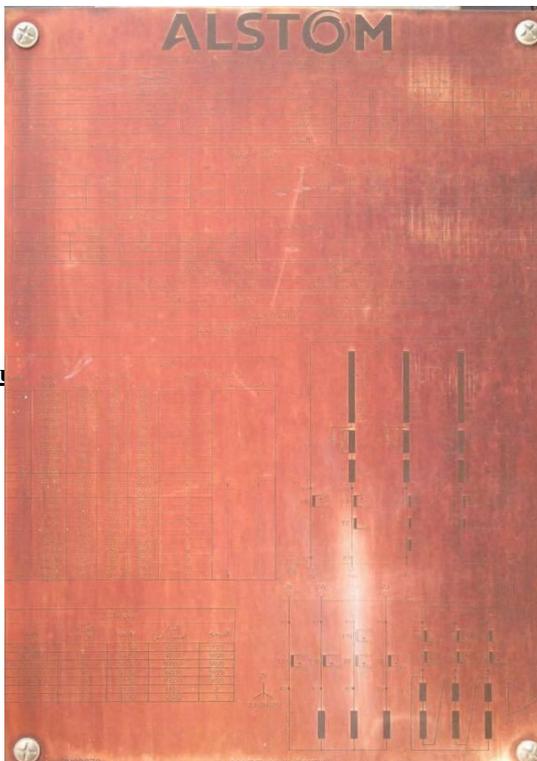
- ✓ La puissance Nominale apparente  $S_n$  en KVA.
- ✓ Le rapport de transformation en charge et chute de tension.
- ✓ La tension et l'impédance de court-circuit.
- ✓ Les pertes en charge et le Rendement.

Sur la plaque métallique signalétique du transformateur, sont indiquées les caractéristiques d'un transformateur (Tension, Puissance, courant...).

### 5.2.2 Mesure :

L'ONEE adopte comme « 11 » un indice horaire pour tous les transformateurs de puissance appliqués.

#### ➤ Transformateur N°1:



Fig



Donc :  $m = \frac{n_p}{V_p} = \frac{225 \times 10^3 V}{225 \times 10^3 V} = 0,26$



Figure18 : Transformateur N°1 a poste EL OULALI

$U_{cc1} = 11,85\%$  et  $S_{n1} = 100MVA$  (Voir Annexe A.1)

nière suivante :

boile est en et le tressaille est en triangle

➤ **Transformateur N2 :**



**Fig21 : Plaque signalétique de transformateur N°2**



**Fig20 : Transformateur N°2 poste EL OULALI**

↪ La plaque signalétique indique que :  $U_{cc2} = 11,85\%$  et  $S_{n2} = 100MVA$  (Voir Annexe A.2)

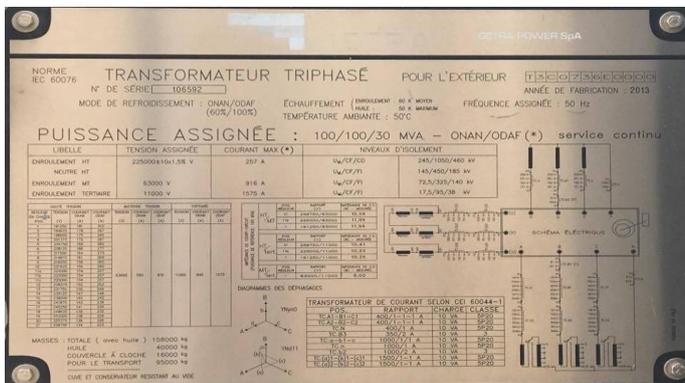
↪ Rapport de transformation :

Le transformateur est couplé selon la manière suivante :

Le primaire est en étoile, le secondaire étoile est en et le tressaille est en triangle

$$\text{Donc : } m_1 = \frac{n_s}{n_p} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{60 \times 10^3 V}{225 \times 10^3 V} = 0,26$$

➤ **Transformateur N°8 :**



**Fig23 : Plaque signalétique de transformateur N°8**



**Fig22: Transformateur N°8 a poste EL OULALI**

↪ La plaque signalétique indique que :  $U_{cc8} = 11,94\%$  et  $S_{n8} = 100MVA$  (Voir Annexe A.2)

↪ Rapport de transformation :

Le transformateur est couplé selon la manière suivante :

Le primaire est en étoile, le secondaire étoile et le tressaille est en triangle

$$\text{Donc : } m_1 = \frac{n_s}{n_p} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{60 \times 10^3 V}{225 \times 10^3 V} = 0,26$$

### 5.2.3 Applications :

Calculons la tension de court-circuit moyenne :

$$\frac{S_{tot}}{U_{cctot}} = \frac{S_{n1}}{U_{cc1}} + \frac{S_{n2}}{U_{cc2}} + \frac{S_{n3}}{U_{cc3}}$$

$$\Rightarrow U_{cctot} = \frac{S_{tot}}{\frac{S_{n1}}{U_{cc1}} + \frac{S_{n2}}{U_{cc2}} + \frac{S_{n3}}{U_{cc3}}} = \frac{300MVA}{\frac{100MVA}{11.85\%} + \frac{100MVA}{11.94\%} + \frac{100MVA}{11.85\%}} = 11.89\%$$

La puissance totale est de 300MVA, distribué aux transformateurs en fonction de la tension moyenne de court-circuit.

calculons la puissance de chaque transformateur :

$$\text{Transformateur 1 : } S_1 = S_{n1} \cdot \frac{U_{cctot}}{U_{cc1}} = 100MVA \cdot \frac{11.89\%}{11.85\%} = 100.33MVA$$

$$\text{Transformateur 2 : } S_2 = S_{n2} \cdot \frac{U_{cctot}}{U_{cc2}} = 100MVA \cdot \frac{11.89\%}{11.85\%} = 100.33MVA$$

$$\text{Transformateur 8 : } S_3 = S_{n3} \cdot \frac{U_{cctot}}{U_{cc3}} = 100MVA \cdot \frac{11.89\%}{11.94\%} = 99.58MVA$$

On constate alors que :

- Le transformateur 1 est surchargé de 0.92%
- Le transformateur 2 est surchargé de 0.92%
- Le transformateur 8 est sous-chargé de 0.82%

On distingue alors que la puissance totale devient :

$$S_{tot} = S_1 + S_2 + S_3 = 300.24MVA$$

Si les transformateurs ne sont pas soumis à des conditions de surcharge, les transformateurs ne peuvent être chargés que de manière à ce que la tension d'impédance moyenne ne dépasse pas la valeur de la tension d'impédance nominale la plus petite des transformateurs connectés en parallèle.

Dans l'exemple décrit ci-dessus, cette valeur la plus petite est  $U_{cc1} = 11.85.0\%$  .

Suite à cette restriction, la distribution du courant de charge devient :

$$\text{Transformateur 1 : } S_1 = 100MVA \cdot \frac{11.85\%}{11.85\%} = 100MVA$$

$$\text{Transformateur 2 : } S_2 = 100MVA \cdot \frac{11.85\%}{11.85\%} = 100MVA$$

$$\text{Transformateur 8 : } S_3 = 100MVA \cdot \frac{11.85\%}{11.94\%} = 91.22MVA$$

$$\rightarrow S_{tot} = S_1 + S_2 + S_3 = 291.22MVA$$

On remarque que la puissance devient plus moins de 8.78MV

### 5.3 conclusion :

Nous constatons que les rapports de transformation des transformateurs sont équivalents. Et donc pas de problème en ce niveau.

La différence des tensions de court-circuit des transformateurs entraîne une perte de puissance. Cet écoulement est si important vu que la puissance perdue est intéressante.

### 5.4 Solutions proposées :



Adapter le régleur en charge et bien le paramétrer afin de suivre le courant de circulation d'une manière automatique pour égaliser les tensions secondaires.



Agir sur le régleur de charge en diminuant ou en augmentant le nombre de spires des enroulements primaire des transformateurs, pour contrôler les sous-charges et les surcharges des transformateurs appliqués.

# 6 Conclusion

## Conclusion :

*On a procédé dans ce sujet à une étude sur la mise en parallèle des transformateurs de poste ELOUALI, on a élaboré, d'une part des études théoriques pour traiter la possibilité de la mise en parallèle et d'autre part on a développé des études pratiques basés sur les calculs.*

*On a constaté que la mise en parallèle renforce bien la sécurité des transformateurs et réduit par conséquent les problèmes d'échauffement survenus aux transformateurs et ce pour éviter les déclenchements inutiles.*

*On a vérifié que le problème des transformateurs mis en parallèle n'ayant pas les mêmes caractéristiques, peut être évité.*

*Le cas des transformateurs de poste ELOUALI n'est qu'un exemple qui montre le manque à gagner si on donne un intérêt convenable à la mise en parallèle des transformateurs.*

*Ce projet permet de donner plus d'intérêt au point suivant :*

- *La maîtrise des possibilités de la mise en parallèle des transformateurs.*

# A

## Annexe

<b>A.1 caractéristique des transformateurs de poste ELOUALI. . . . .</b>	<b>p.40</b>
<b>A.2 schéma du poste ELOUALI . . . . .</b>	<b>p.40</b>
<b>A.3 schéma de repérage de puissance Saiss. . . . .</b>	<b>p.41</b>

### A.1 caractéristique des transformateurs de poste EL OULAI :

المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب  
Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable

Pole industriel /CTR/DTO/X FES  
Service Maintenance FES  
Equipe Postes Fès

قطاع الكهرباء  
Branche Electricité

### SUIVI DES TRANSFORMATEURS

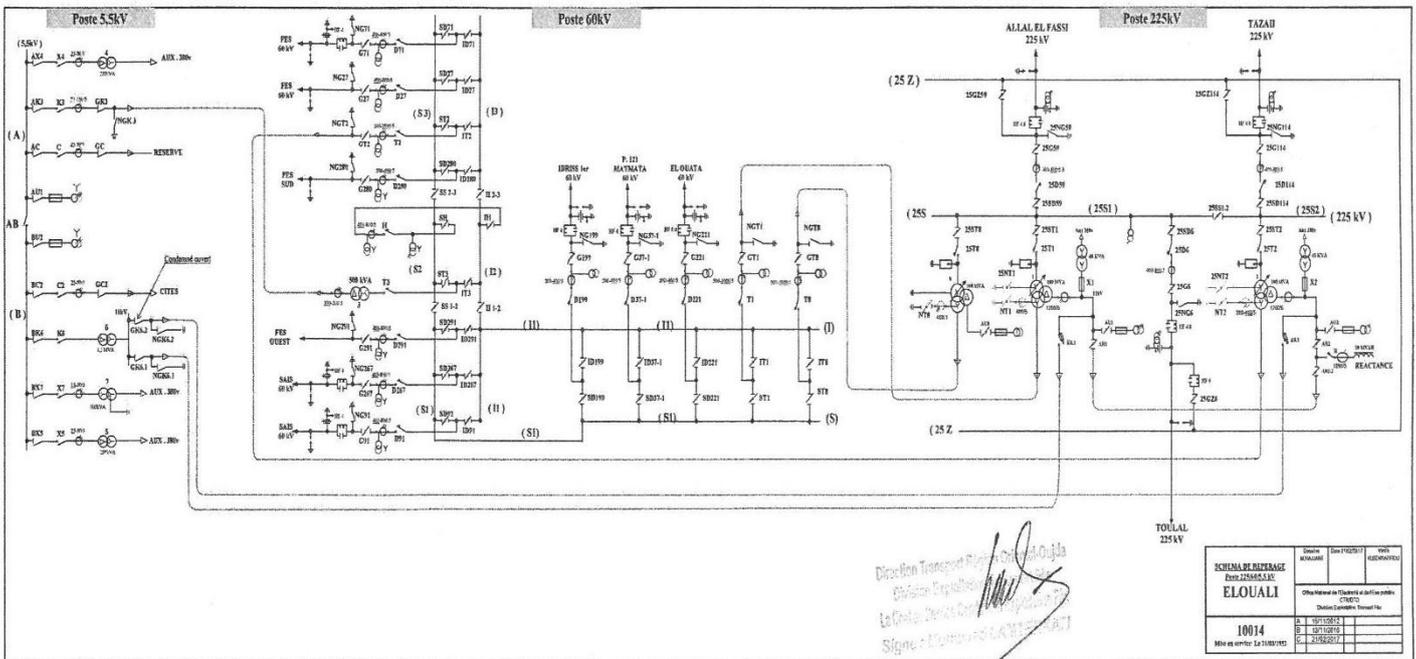
POSTE	Type d'équipement	Date de mise en service	Désignation	Fabricant	N° de série	Puissance	Tension d'isolement	Tension primaire	Tension Secondaire	Courant primaire	Courant secondaire	Tensions court circuit	Date de dernière Visite type II et C.Isolement	Date de prochaine Visite type II ou C.Isolement
ELOUALI	Transformateur de puissance	1990	TR 225/60/11KV N°1	PAUWELS TRAF0	8840963	100MVA	245KV	225KV	60KV	256,6A	875A	11,85%	10/09/2016	02/04/2017
	Transformateur de puissance	13/02/2016	TR 225/60/11KV N°2	GETRA	106592	100MVA	245KV	225KV	60KV	257	916		13/02/2016	12/02/2017
	Transformateur de puissance	17/06/2012	TR 225/60/11KV N°8	ALSTOM	316473	100MVA	245KV	225KV	60KV	256	875	11,85%	08/05/2016	14/05/2017

Etabli par :  
Date :  
Signature :

Vérifié par :  
Date :  
Signature :

Validé par :  
Date :  
Signature :

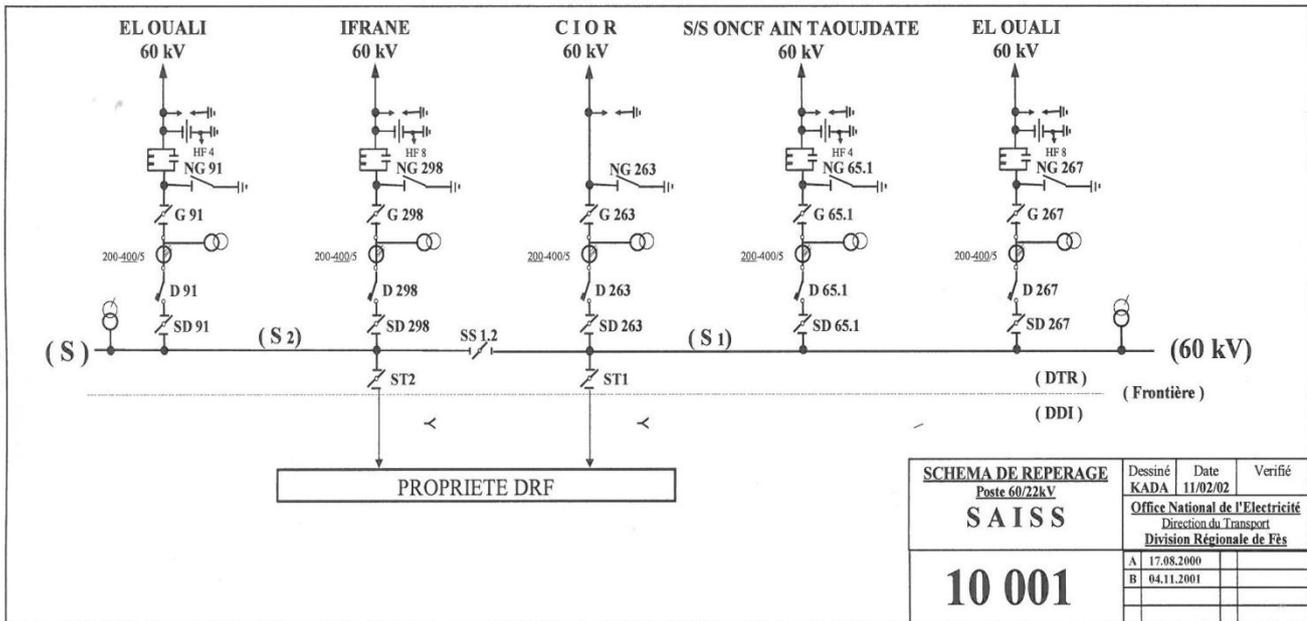
### A.3 schéma du poste ELOUALI :



Direction Technique Réseau  
Le Chef de Service  
Signé : [Signature]

SCHEMA DE RELEVAGE  
POSTE JABBARA II  
ELOUALI  
10014  
Mise en service: Le 21/03/1995

A.3 schéma de repérage de puissance Saïss :



# Webographie et Bibliographie

---

## Webographie :

- [http://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Mise en parallèle de transformateurs](http://fr.electricalinstallation.org/frwiki/Mise_en_parallel%C3%A9_de_transformateurs)
- [http://www.iufmrese.cict.fr/liste/Doclidie/transfo en parallele.pdf](http://www.iufmrese.cict.fr/liste/Doclidie/transfo_en_parallel%C3%A9.pdf)
- <https://www.abcelectronique.com/forum/showthread.php?p=9607>
- <http://eelectrotechnique.fr/wp-content/uploads/2011/12/E2Kastenwald-corrig%C3%A9.pdf>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur de puissance](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur_de_puissance)
- <http://garnero.michel.free.fr/Docs1/Transfo3.pdf>

## Bibliographie :

- **ON-LOAD TAP-CHANGERS FOR POWERADE TRANSFORMERS DR.AXEL  
KRAMER**
- **MANUEL D'UTILISATION TYPE KVGC RELAIS REGULATEUR DE TENSION  
ALSTOM**