

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

## Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

**Spécialité : ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE**

*Présenté par*

**Marzouk RAHMANI**

**Ahmed SI LEKHEL**

Thème

# Etude des protections d'un réseau moyenne tension : Application au départ Boukhalfa

*Mémoire soutenu publiquement le 29 Septembre 2014 devant le jury composé de :*

**M Djaffar BOUGUEDAD**

MCB, UMMTO, Président

**M Mustapha MOUDOUD**

MCA, UMMTO, Rapporteur

**M Mouloud GAQUI**

Ingénieur, Sonelgaz, Co-rapporteur

**M Karim HADJ SAID**

MAA, UMMTO, Examineur

**M Rachid ADJAZ**

MAB, UMMTO, Examineur

# Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les réseaux MT</b>	
I. Introduction.....	2
I.2.Organisation des réseaux électrique .....	2
I.2.1.La production.....	2
I.2.2.Réseaux de transport .....	3
I.2.3.Réseaux d'interconnexion.....	3
I.2.4.Réseaux de répartition .....	3
I.2.5.Réseaux de distribution .....	3
I.2.6.La consommation .....	3
I.3. Architecture des réseaux HTA .....	4
I.3.1. Radial en simple antenne .....	4
I.3.1.1.Fonctionnement.....	4
I.3.1.2. Architecture.....	5
I.3.2. Radial en double antenne avec couplage.....	6
I.3.2.1. Fonctionnement .....	6
I.3.3. Radial en double antenne avec couplage.....	7
I.3.3.1.Fonctionnement .....	7
I.3.4. En boucle.....	8
I.3.4.1.Boucle ouverte.....	8
I.3.4.2.Boucle fermée.....	10
I.4.Réseaux à moyenne tension.....	11
I.4.1.Les différentes structures des réseaux moyenne tension .....	11
I.4.1.1.Configuration en simple dérivation .....	11
I.4.1.2.Réseau en coupure d'artère. ....	11
I.4.1.3.Réseaux en double dérivation .....	11

I.4.2.Déférentes types d'exploitation des réseaux à moyenne tension .....	11
I.4.2.1.Réseau à moyenne tension aériens (MTA) .....	12
I.4.2.2.Réseau à moyenne tension Souterrain (RMTS) .....	12
I.5.Lignes électriques .....	14
I.5.1.Les types de lignes .....	14
I.5.1.1.Ligne de distribution à basse tension .....	14
I.5.1.2.Ligne de distribution à moyenne tension .....	14
I.5.1.3.Ligne de distribution à haute tension .....	15
I.5.1.4.Ligne de distribution à très haute tension .....	15
I.6.2.Composants d'une ligne aérienne .....	15
I.6.2.1. Conducteurs .....	15
I.6.2.2. Isolateurs .....	15
I.6.2.2.Supports .....	15
I.7.Les postes de transformation .....	16
I.7.1.Déférents types des postes électriques .....	17
I.7.1.1.Poste MT/BT en haut du poteau .....	17
I.7.1.2.Postes préfabriqués monobloc .....	18
I.7.1.3.Postes d'intérieur .....	18
I.7.1.4.Poste avec cellules fonctionnelles .....	19
Conclusion.....	20

## ***Chapitre II : Protection d'un départ moyenne tension***

II.1.Introduction .....	21
II.2.Système de protection .....	21
II.2.1.Définition et rôle de protection .....	21
II.2.2.Constitution d'un système de protection .....	21
II.2.3.Définition des éléments de la chaine de protection .....	22
II.2.3.1.Transformateur de courant .....	22
II.2.3.2.Transformateur de tension .....	23
II.1.3.3.Relais de protection .....	23

II.3.Caractéristiques de base de la protection .....	23
II.4.Choix du régime de neutre .....	24
II.4.1.Neutre mis directement à la terre .....	24
II.4.2. Neutre mis à la terre par résistance .....	25
II.2.3.Neutre mis à la terre par réactance faible .....	26
II.2.4. Neutre mis à la terre par réactance de compensation .....	27
II.5. Appareillage de protection .....	28
II.5.1. Les disjoncteurs .....	29
II.5.1.1.Choix du disjoncteur .....	29
II.5.2.Les fusibles .....	30
II.5.2.1.Caractéristiques du fusible .....	30
II.5.3.Les sectionneurs .....	31
II.5.3.1.Les différents types des sectionneurs .....	31
II.5.4.Les éclateurs .....	32
II.5.5.Les relais de protection .....	33
II.5.5.1.Définition .....	33
II.5.5.2.Différents types des relais .....	33
a. Relais électromagnétique .....	33
b. Relais statique .....	34
c. Relais thermique.. .....	34
d. Relais numérique .....	34
II.6.Protection d'un réseau MT .....	35
II.6.1.Protection des transformateurs HT/MT .....	35
II.6.2.Protection des jeux de barres MT .....	36
II.6.2.1.Protection différentielle.....	36
II.6.2.2.Protection de masse .....	36
II.6.3.Protection d'un départ .....	36

II.6.3.1. Protection contre les défauts entre phases .....	37
II.6.3.2. Protection contre les défauts entre phase et terre .....	39
II.7. Les automates associés aux protections des départs MT. ....	39
II.7.1. Dispositif de réenclenchement rapide (DDR) .....	39
II.7.2. Dispositif de réenclenchement lent (DDL) .....	40
II.7.3. Dispositif de réenclenchement rapide et lent.....	40
Conclusion .....	40

### ***Chapitre III : Calcul des courants des défauts***

III.1. Introduction .....	41
III.2. Définition d'un défaut électrique .....	41
III.3. Origines des défauts.....	41
III.3.1. Défauts d'origine externe .....	41
III.3.2. Défauts d'origine interne .....	41
III.4. Différents types de défauts .....	42
III.4.1. Surintensité .....	42
III.4.1.1. Surcharges .....	42
III.4.1.2. Courts-circuits .....	42
III.4.2. Les surtensions .....	42
III.4.3. Le déséquilibre .....	42
III.5. Caractéristiques des défauts .....	43
III.5.1. Leurs emplacements .....	43
III.5.2. Leurs durées .....	43
III.6. Conséquences des défauts .....	44
III.6.1. Fonctionnement des réseaux .....	44
III.6.2. Tenue du matériel .....	44
III.6.3. Qualité de la fourniture .....	44
III.6.4. Circuit de télécommunication .....	45

III.6.5. Explosion du disjoncteur .....	45
III.6.6. La sécurité des personnes .....	45
III.7. Utilité de calcul du courant de court-circuit .....	45
III.8. Facteur influençant la valeur du Icc .....	46
III.9.Méthode de calcul des courants de courts-circuits .....	46
III.9.1.Méthodes des composantes symétriques .....	46
III.9.1.1. Définition des composantes symétriques .....	47
III.9.1.2. Décomposition d'un système triphasé .....	48
III.9.1.3. Analyse du défaut .....	49
III.9.1.4. Valeur du courant de défaut à la terre .....	55
III.9.2. Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de court-circuit .....	56
III.9.2.1. Définition .....	56
III.9.2.2. Changement de base .....	56
III.9.2.3. Réactance des éléments du réseau .....	56
III.9.2.4.Méthode de calcul .....	59
III.10. Conclusion .....	59

## ***Chapitre IV: Application***

IV.1. Introduction .....	60
IV.2. Description du poste simplifié de Draa Ben khedda 60 kV/ 30kV .....	60
IV.3. Données techniques .....	60
IV.4. Méthode de calcul .....	61
IV.5. Calcul des courants des défauts .....	61
IV.5.1.Valeurs des impédances .....	61
IV.5.2.Les deux transformateurs fonctionnent séparément (fonctionnement normal) .....	64
IV.5.3.Les deux transformateurs fonctionnent en parallèle .....	67
IV.6.Calcul du courant nominal .....	71
IV.7.Caractéristiques des disjoncteurs sur le poste de DBK .....	72

IV.8. Valeurs obtenues .....	72
IV.9. Interprétation .....	73
IV.10. Conclusion .....	74
Conclusion générale .....	75

## Introduction générale

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus largement répandue car elle est facilement transportable à un rendement élevé et un coût raisonnable. Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures dont le but est d'acheminer de l'énergie électrique à partir de centres de production vers les consommateurs d'électricité (charge).

Le premier réseau électrique a vu le jour aux états unis en 1882 et a été conçu par *Thomas Edison*. C'était un réseau local à courant continu et servait à assurer l'éclairage de la région de Manhattan. La distribution de l'énergie était assurée par des câbles souterrains.

Avec l'invention du transformateur par *William Stanley* en 1885 et celle du moteur à courant alternatif par *Nikola Tesla* en 1888. Les réseaux à courant alternatif commencèrent à prendre le pas sur les réseaux à courant continu du fait qu'il était devenu possible d'acheminer plus de puissance, sur de plus grandes distances, grâce à des niveaux de tension plus élevées.

Ces réseaux à courant alternatif comprennent des transformateurs, des lignes de transmission, des générateurs, des moteurs, des réactances, des condensateurs, des moyens de mesure et de contrôle des protections contre la foudre, les courts-circuits,...etc.

Ces réseaux, malgré tous les efforts déployés, sont souvent touchés par des perturbations qui peuvent mettre en danger le matériel, le personnel et affectent la qualité de service. D'où, la nécessité d'utiliser des dispositifs destinés à limiter les dommages et à isoler rapidement la partie avariée du réseau afin d'éviter la propagation du défaut qui privera d'énergie d'autres utilisateurs.

Notre objectif est d'étudier la protection d'un départ moyenne tension (MT) situé à *Boukhalfa*. Pour se faire, on a subdivisé notre travail en quatre chapitres, le premier chapitre traite des généralités sur les réseaux électriques, le deuxième chapitre consiste à la représentation des moyens de protection d'un départ MT, le troisième chapitre est consacré aux calculs des courants des défauts. Le dernier chapitre est une application qui consiste à calculer les courants de court-circuit sur le jeu de barre 30kV, sur le départ *Boukhalfa* à 10m du jeu de barre et à 58 km (extrémité) du départ.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

## I.1.Introduction :

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 au niveau 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 - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble. [1]

$$Production = Consommation + Pertes$$

## I.2.Organisation des réseaux électriques :

Un réseau électrique est dissocié en quatre grandes parties :

- ü La production
- ü Le réseau de transport
- ü Le réseau d'interconnexion
- ü Le réseau de répartition

La figure (I.1), représente la structure de base des réseaux d'énergie électriques. [2]

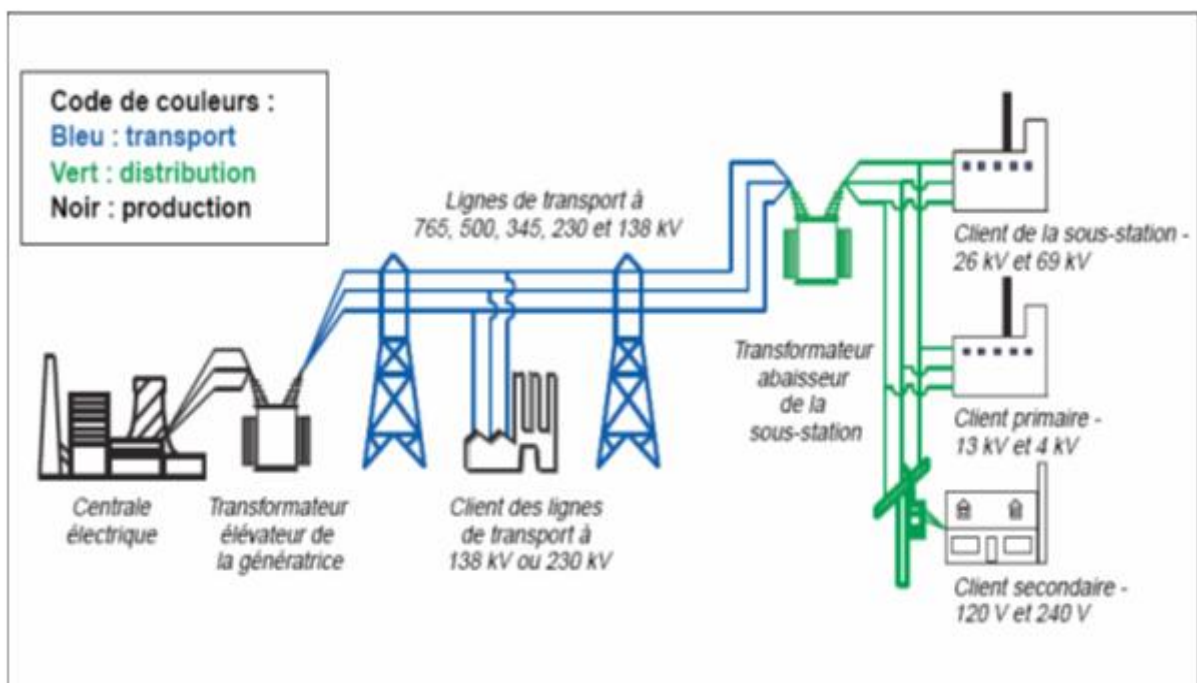


Figure I.1 Structure de base d'un réseau d'énergie électrique.

### **I.2.1.La production :**

Elle consiste à la production de la puissance active consommée par le réseau entier. En grande majorité, les tensions associées à cette production sont produites sous la forme de système triphasé par l'intermédiaire d'alternateurs entraînés à partir de divers types de source d'énergie dites « *primaire* ». [2]

### **I.2.2.Réseaux de transport :**

Il consiste à acheminer l'énergie des centrales de production jusqu'aux abords des grands centres de consommation. Il est constitué de lignes à très haute tension afin de minimiser les pertes joules et les chutes de tension sur ces grandes distances.

Il permet ainsi de transporter des quantités élevées d'énergie dans des conditions économiques favorables. [2]

### **I.2.3.Réseaux d'interconnexion :**

Les réseaux d'interconnexion assurent la liaison entre les centres de production et permettent des échanges entre différentes régions et même avec des pays voisins pour favoriser la solidarité des systèmes en cas d'urgence.

Ces réseaux sont organisés de façon que toutes les lignes à MT soient reliées par des postes de transformation assurant la continuité entre les lignes de différents niveaux de tension. [2]

### **I.2.4.Réseaux de répartition :**

Les réseaux de répartition sont à haute tension, leurs but est d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie est injectée essentiellement par le réseau de transport en passant par des transformateurs, mais aussi par des centrales électriques de moyenne puissance.

Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région et leurs structure est essentiellement aérienne. Mais lorsqu'ils sont proches des villes, les lignes deviennent des câbles enterrés (souterrains). [2]

### **I.2.5.Réseaux de distribution :**

Les réseaux de distribution sont généralement basés sur une structure arborescente. Les réseaux de distribution ont pour but d'assurer l'alimentation de l'ensemble des consommateurs tout en réalisant le moins de pertes possibles.

Il existe deux sous niveaux de tension :

- Les réseaux à moyenne tension (de 2.4 à 69kV).

- Les réseaux à basse tension (< 600V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques.

Contrairement aux réseaux de transport et répartition, les réseaux de distribution présente une grande diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, ainsi que selon la densité de population. [2]

### **I.2.6.La consommation :**

Chaque récepteur connecté au réseau électrique consomme une puissance active ainsi qu'une puissance réactive. La consommation domestique qui est généralement majoritaire, est très ramifiée et se fait sous basse tension et souvent monophasée (220 à 240V). Certains clients industriels (grosses usines, ferroviaire, etc.) sont directement reliés moyenne, haute ou très haute tension. [2]

### **I.3. Architecture des réseaux HTA:**

Les schémas électriques des réseaux HTA les plus souvent rencontrés sont les suivants :

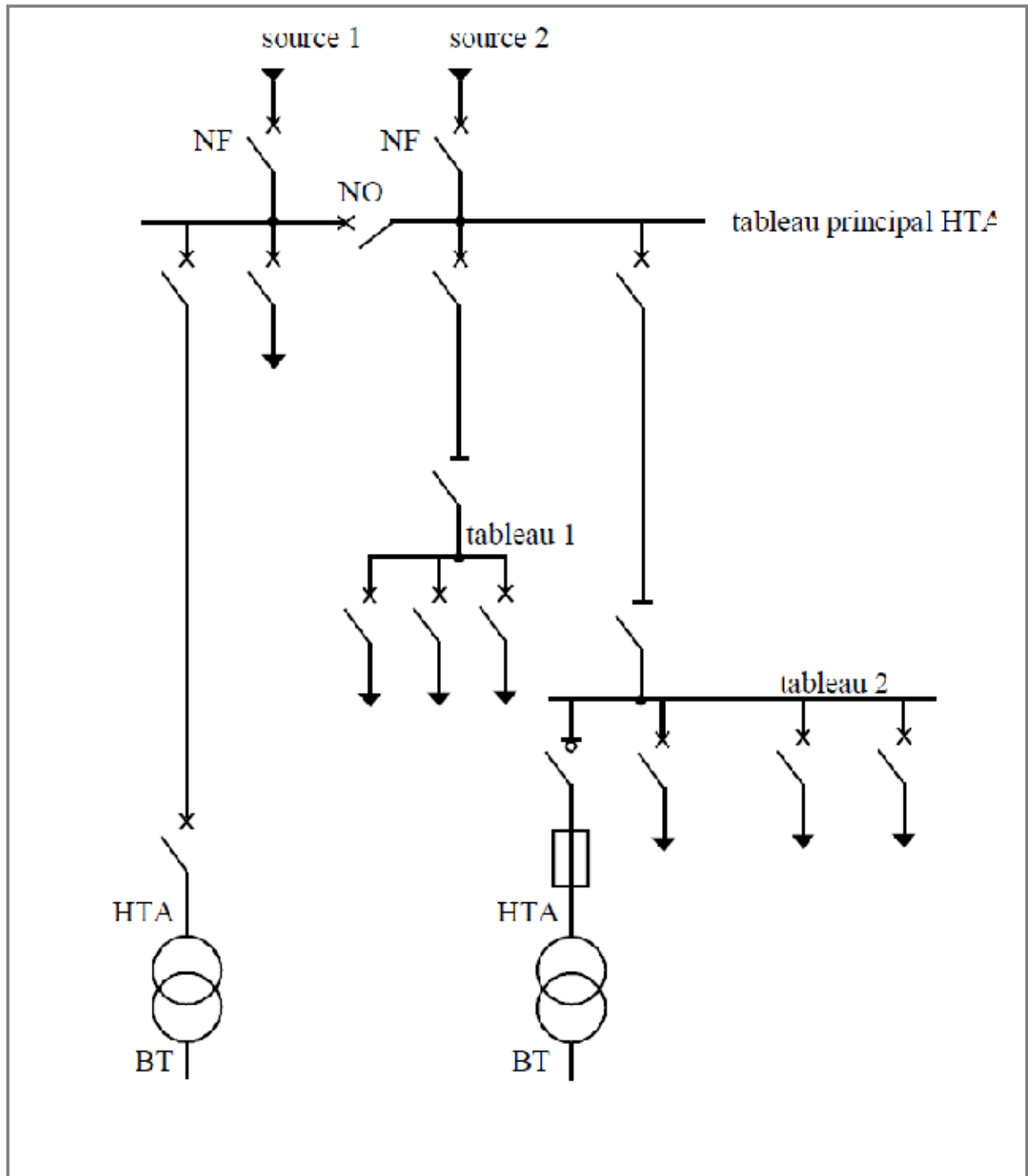
#### **I.3.1. Radial en simple antenne :**

##### ***I.3.1.1.fonctionnement :***

Les tableaux 1 et 2 et les transformateurs sont alimentés par une seule source, il n'y a pas de solution de dépannage, (Voire Fig.1.2).

Cette structure est préconisée lorsque les exigences de disponibilité sont faibles, elle est souvent retenue pour les réseaux de cimenterie. [3]

*1.3.1.2. Architecture :*



*Fig. I.2. Réseau HTA radial en double antenne sans couplage. [3]*

### I.3.2. Radial en double antenne avec couplage :

#### I.3.2.1. Fonctionnement :

Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par deux sources avec couplage. En fonctionnement normal les disjoncteurs de couplage sont ouverts, (Voire Fig. I.3).

Chaque demi-jeu de barre peut-être dépanné et être alimenté par l'une ou l'autre source.

Cette structure est recommandée lorsqu'une bonne disponibilité est demandée. Elle est souvent retenue dans les domaines de la sidérurgie de la pétrochimie. [3]

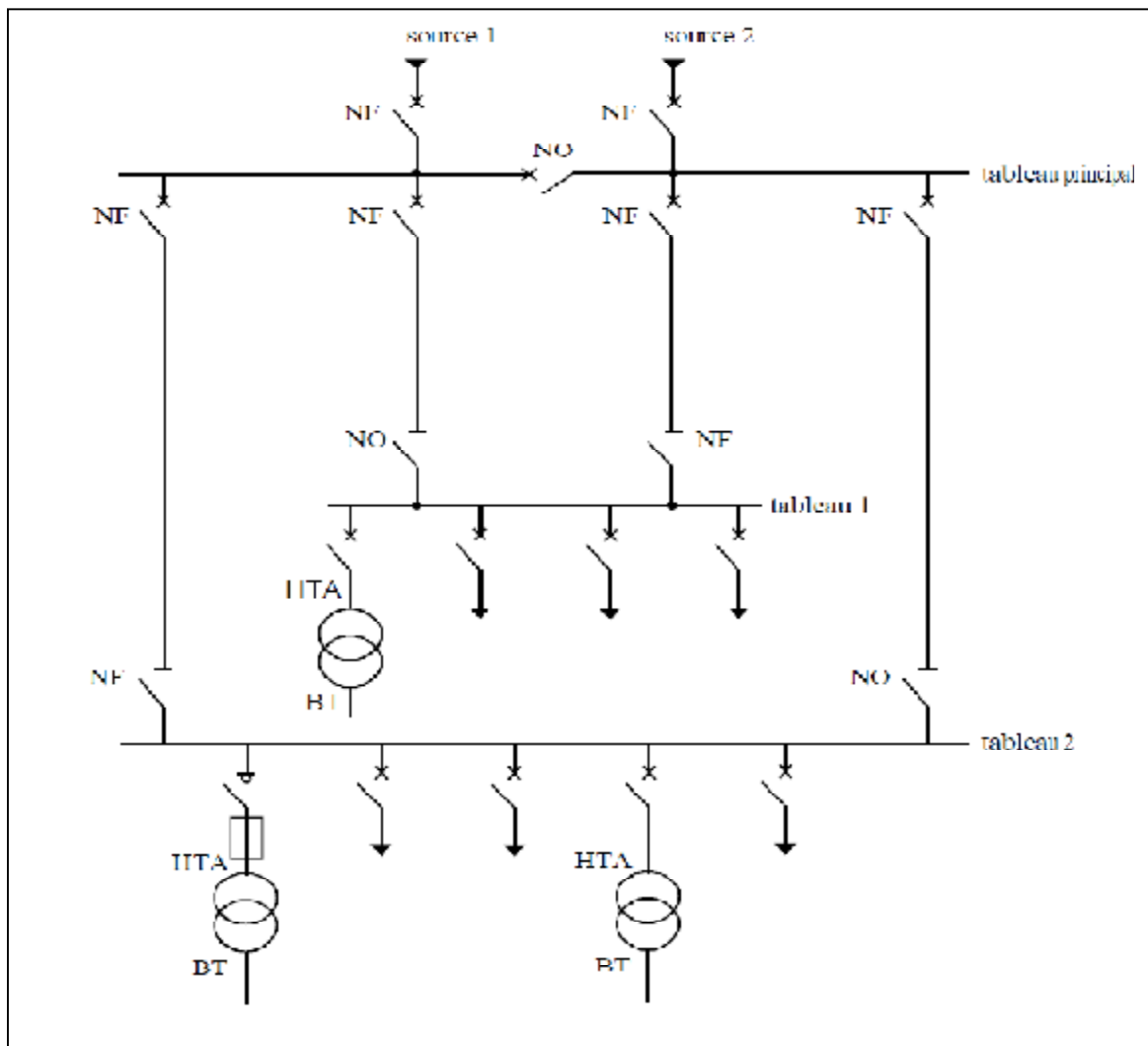


Fig. I.3. Réseau HTA radial en double antenne sans couplage. [3]

### I.3.3. Radial en double antenne avec couplage :

#### I.3.3.1. Fonctionnement :

Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par deux sources avec couplage. En fonctionnement normal, les disjoncteurs de couplage sont ouverts.

Chaque demi-jeu de barre peut être dépanné est alimentée par l'une ou l'autre des sources. Cette structure est préconisée lorsqu'une bonne disponibilité est demandée, Elle est souvent retenue dans les domaines de sidérurgie et la pétrochimie. [3]

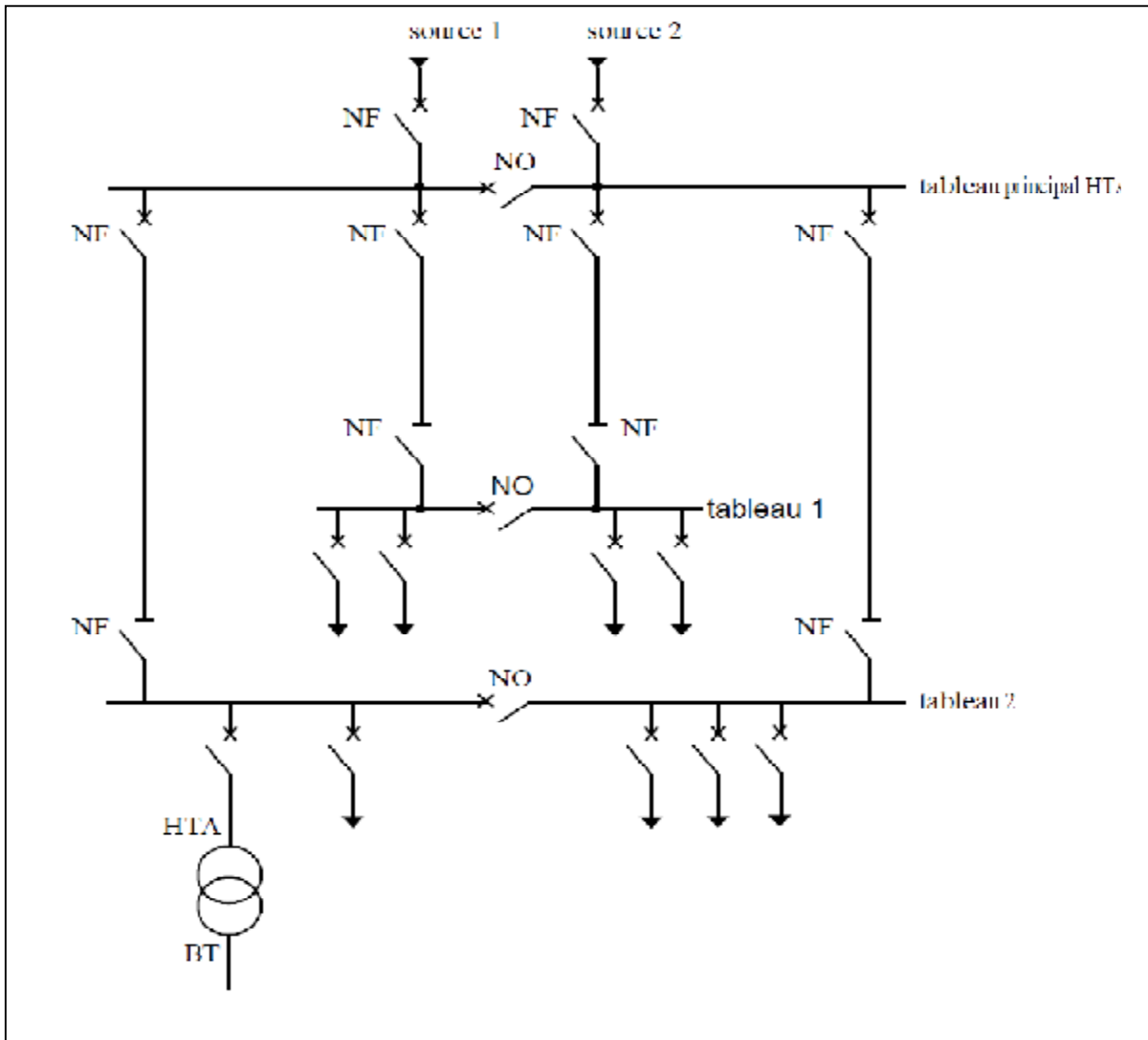


Fig. I.4. Réseau HTA radial en double antenne avec couplage. [3]

### **I.3.4. En boucle :**

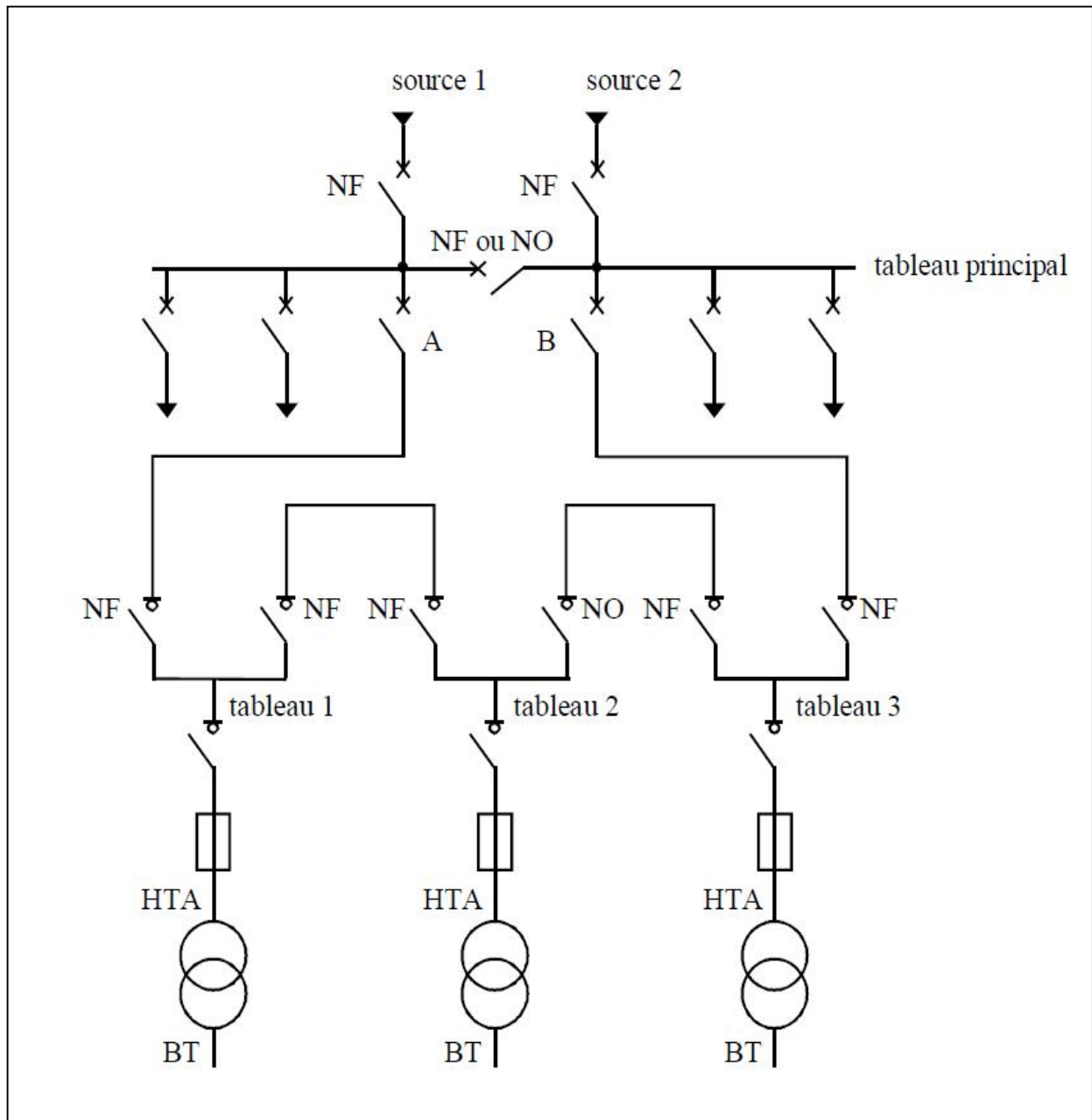
Cette solution est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes, il existe deux possibilités suivant que la boucle est ouverte ou fermée en fonctionnement normal. (Voire Fig. I.5 et I.6) [3]

#### ***I.3.4.1. boucle ouverte :***

##### ***a. Fonctionnement :***

- Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteurs.
- Les appareils des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est ouverte (au niveau du tableau 2).
- Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources.
- Un défaut sur câble ou la perte d'une source est pallié par une reconfiguration de la boucle.
- Cette reconfiguration engendre une coupure d'alimentation en quelques secondes si un automatisme de reconfiguration de boucle est installé. La coupure est d'au moins plusieurs minutes ou dizaines de minutes si la reconfiguration de boucle est effectuée manuellement par le personnel d'exploitation.

*b. Architecture :*



*Fig. I.5. Réseau HTA en boucle ouverte. [3]*

### 1.3.4.2. boucle fermée :

#### a. Fonctionnement :

- Tous les appareils de coupures de la boucle sont des disjoncteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est fermée
- Le système de protection permet d'éviter les coupures d'alimentation lors d'un défaut.
- Cette solution est plus performante que le cas de la boucle ouverte car il évite les coupures d'alimentation, par contre elle est plus onéreuse car elle nécessite des disjoncteurs dans chaque tableau et un système de protection plus élaboré.

#### b. Architecture :

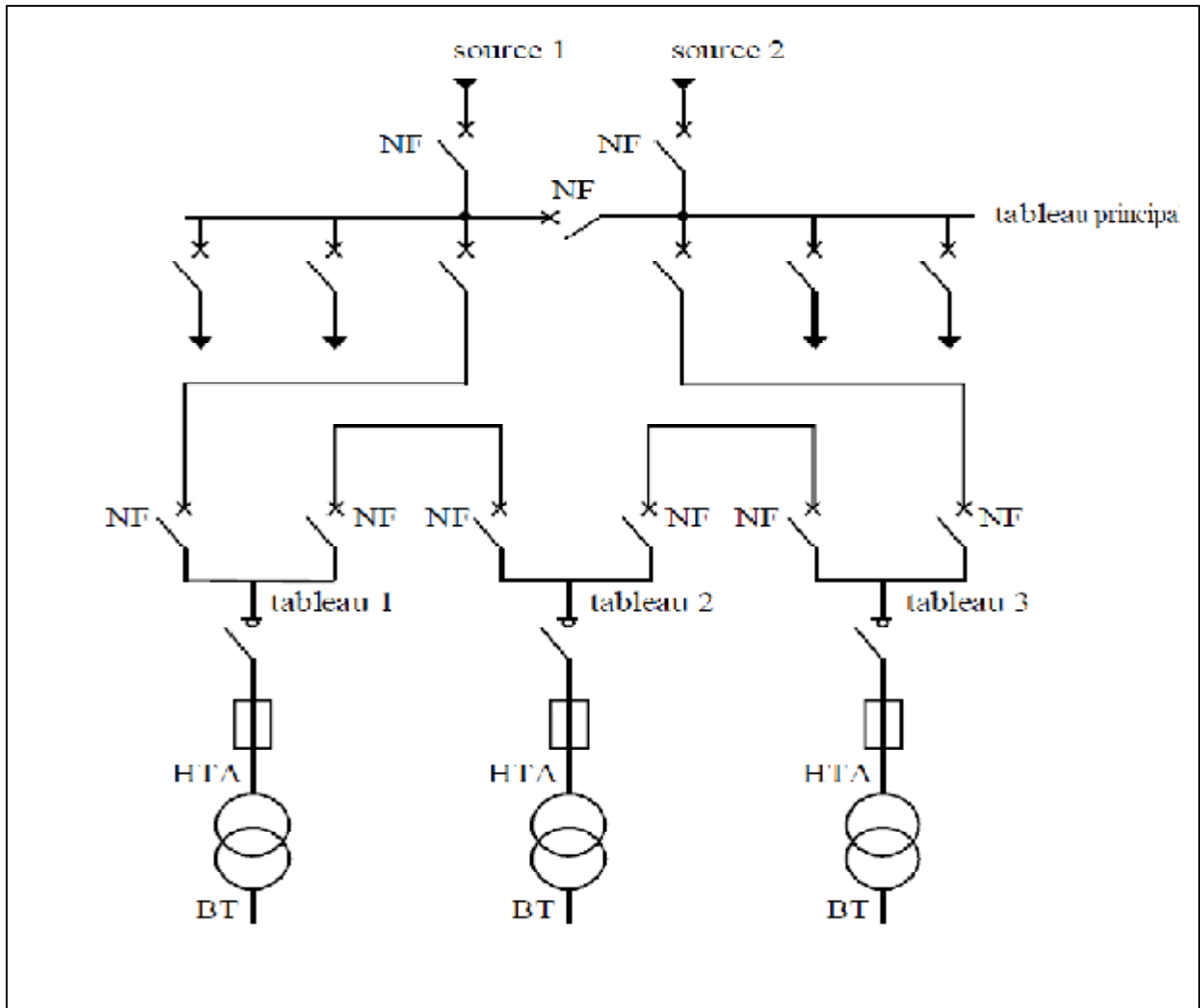


Fig. I.6. Réseau HTA en boucle fermée. [3]

## **I.4. Réseaux à moyenne tension :**

Les réseaux moyenne tension ont des protections simples et moins coûteuses. Le courant parcourt une artère sur laquelle sont reliés directement des branches de dérivation au bout desquelles se trouvent des postes MT/BT de distribution publique. [4]

### **I.4.1. Les différentes structures des réseaux moyenne tension :**

Les réseaux moyenne tension sont exploités selon plusieurs configurations : en simple dérivation, en coupure d'artère ou bien en double dérivation. [4]

#### ***I.4.1.1. Configuration en simple dérivation :***

C'est un réseau à une seule voie d'alimentation où tous les points de consommation sont alimentés par un seul chemin électrique possible, il est de type arborescent. Cette arborescence se déroule à partir de point d'alimentation constitué de poste de distribution HT/MT et s'étale jusqu'au consommateur MT ou BT. Cette disposition est particulièrement utilisée pour la distribution de la moyenne tension en milieu rural. [4]

#### ***I.4.1.2. Réseau en coupure d'artère :***

Son principe de fonctionnement est à deux voies d'alimentation. Tous les points de consommation sont alimentés par deux chemins électriques dont seulement un est effectif. Cette disposition est souvent utilisée en zone urbaine à forte densité. [4]

#### ***I.4.1.3. Réseaux en double dérivation :***

Le principe de cette disposition est basé sur le fait que le réseau moyenne tension est doublé.

Il est constitué de deux circuits (a) et (b). chaque poste MT / BT est alimenté par ces deux circuits, mais seul un est effectif.

Ces réseaux à double dérivation sont équipés d'un automatisme qui permet la permutation automatique en cas de manque de tension dans une des arrivées.

Cette disposition est souvent utilisée en zones urbaines à forte densité. [4]

### **I.4.2. Différents types d'exploitation des réseaux à moyenne tension :**

Les réseaux à moyenne tension sont exploités suivant deux configurations, celle des réseaux aériens et celle des réseaux souterrains :

#### ***1.4.2.1. Réseau à moyenne tension aériens (MTA) :***

La structure des réseaux est arborescente à deux ordres de lignes dorsales et dérivations.

Des sous dérivations peuvent être utilisées pour alimenter des charges isolées ou pour regrouper sous un même interrupteur à commande manuelle un ensemble de poste MT/BT.

Cette structure destinée à desservir des zones à faible densité de charge est exploitée en radial, d'une façon générale le bouclage entre réseaux voisins ne doit pas être recherché sauf pour des contraintes d'exploitation justifiées.

Le réseau MTA est à neutre non distribué, celui-ci est mis à la terre au niveau des postes sources à travers une résistance limitant le courant de défaut à 300A.

Des interrupteurs automatiques seront installés à l'endroit de dérivation pour permettre l'élimination de la dérivation en défaut.

Leur installation se fera suivant l'importance, la probabilité d'incident sur la dérivation.

La nature et les sections des conducteurs à utiliser sont donnée dans le tableau ci-dessous :

<b><i>Lignes</i></b>	<b><i>Nature</i></b>	<b><i>Section (mm<sup>2</sup>)</i></b>	<b><i>Limite thermique(I) (A)</i></b>
<b><i>Dorsale</i></b>	Alliage AL	93.3	270
<b><i>Dérivation</i></b>	Alliage AL	34.4	140

***Tableau I-1 : Nature et Section des Conducteurs. [5]***

#### ***1.4.2.2. Réseau à moyenne tension Souterrain (RMTS) :***

On utilise généralement ce type des réseaux dans les agglomérations et cela afin d'éviter les encombrements et les dangers que présentent les réseaux aériens.

Leurs structure est à un seul type de ligne, la dorsale exploitée en boucle ouverte permettant la reprise éventuelle en cas d'incident (charge coupée et durée d'interruption plus élevée qu'en réseau aérien).

Le réseau souterrain est à neutre non distribué, celui-ci étant mis à la terre au niveau des postes sources à travers une bobine de point neutre limitant le courant de défaut à 1000A.

<i>Réseau (KV)</i>	<i>Conducteur</i>	<i>Section</i>	<i>Limite thermique(1) (A)</i>
<b>10</b>	Cuivre	180	300
	Almelec	180	
<b>30</b>	Cuivre	70	230

**Tableau I.2 : nature et section des conducteurs. [5]**

1) Valeurs pour câble tripolaire individuel à champ radial directement enterré dans les conditions suivantes ;

- ü Température du sol 20°C
- ü Résistance thermique du sol 100°C/W cm
- ü Température des conducteurs
- ü Câbles en papier - huile 75°C
- ü Câbles en caoutchouc 90°C

## **I.5.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 génère des pertes en lignes. [1]

Il doit assurer :

- ü Une tension constante sur toute la longueur de la ligne et pour toutes les charges.
- ü Des pertes faibles pour avoir un bon rendement (minimiser les pertes joules).

### **I.5.1.Les types de lignes :**

Les lignes utilisées sont imposées par les facteurs suivants :

- ü La distance de transport
- ü La puissance à transporter
- ü Esthétique, encombrement et facilité d'installation.
- ü Le coût.

On distingue quatre types de lignes :

- ü Ligne de distribution à BT.
- ü Ligne de distribution à MT.
- ü Ligne de transport à HT.
- ü Ligne de transport à THT.

#### ***1.5.1.1.ligne de distribution à basse tension :***

Ce sont des lignes installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons pour alimenter les moteurs, les cuisinières, ...etc.

Les lignes sont généralement des câbles ou des barres fonctionnant à des tensions inférieures à 600V. [1]

#### ***1.5.1.2.ligne de distribution à moyenne tension :***

Ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie de l'électricité.

Leur tension est comprise entre 2,4kV à 69kV. [1]

### ***1.5.1.3.ligne de distribution à haute tension :***

Ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de production d'énergie. Les lignes fonctionnent généralement à des tensions inférieures à 230kV.

Dans cette catégorie, on trouve aussi des lignes servant à échanger de l'énergie entre deux grands réseaux et à augmenter la stabilité de l'ensemble.

### ***1.5.1.4.ligne de distribution à très haute tension :***

Ce sont des lignes qui relient les centrales éloignées aux centres de consommation ou d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs allant jusqu'à 1000 km et fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 750 kV.

## **I.6.Composants d'une ligne aérienne :**

Une ligne aérienne se compose de conducteurs, d'isolateurs et de supports. [1]

### ***1.6.1. Conducteurs :***

Les conducteurs servent à transporter l'énergie électrique, donc ils sont soumis à de fortes tensions et à de forts courants, c'est pour cela qu'ils doivent être protégés entre eux, par rapport à la terre ou aux masses métalliques et les protéger aussi contre les agents physiques et chimiques.

Ces conducteurs sont principalement en cuivre ou en aluminium avec une âme en acier. Les conducteurs des lignes aériennes à moyenne tension sont constitués de brins toronnés.

### ***1.6.2. Isolateurs :***

Les isolateurs servent à amortir les conducteurs et les isoler des supports. On les emploie sous forme de cloches simples ou multiples, et de chaînes d'isolateurs. Les isolateurs sont en porcelaine ou en verre.

### ***1.6.3.Supports :***

Les supports sont souvent appelés pylônes à cause de leur forme. Ils ont pour rôle de maintenir les conducteurs à une certaine hauteur de la surface du sol et ils doivent résister aux divers efforts aux quels ils sont soumis.

## I.7. Les postes de transformation :

Un poste électrique (poste de transformation) est un élément de réseau électrique sert à la transmission et à la distribution de l'électricité. Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission et de la rabaisser en vue de la consommation par les utilisateurs.

Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution.

Les trois fonctions principales des postes électriques sont :

- ü L'interconnexion entre les différentes lignes électriques.
- ü La transformation de l'énergie en différents niveau de tension. [6]

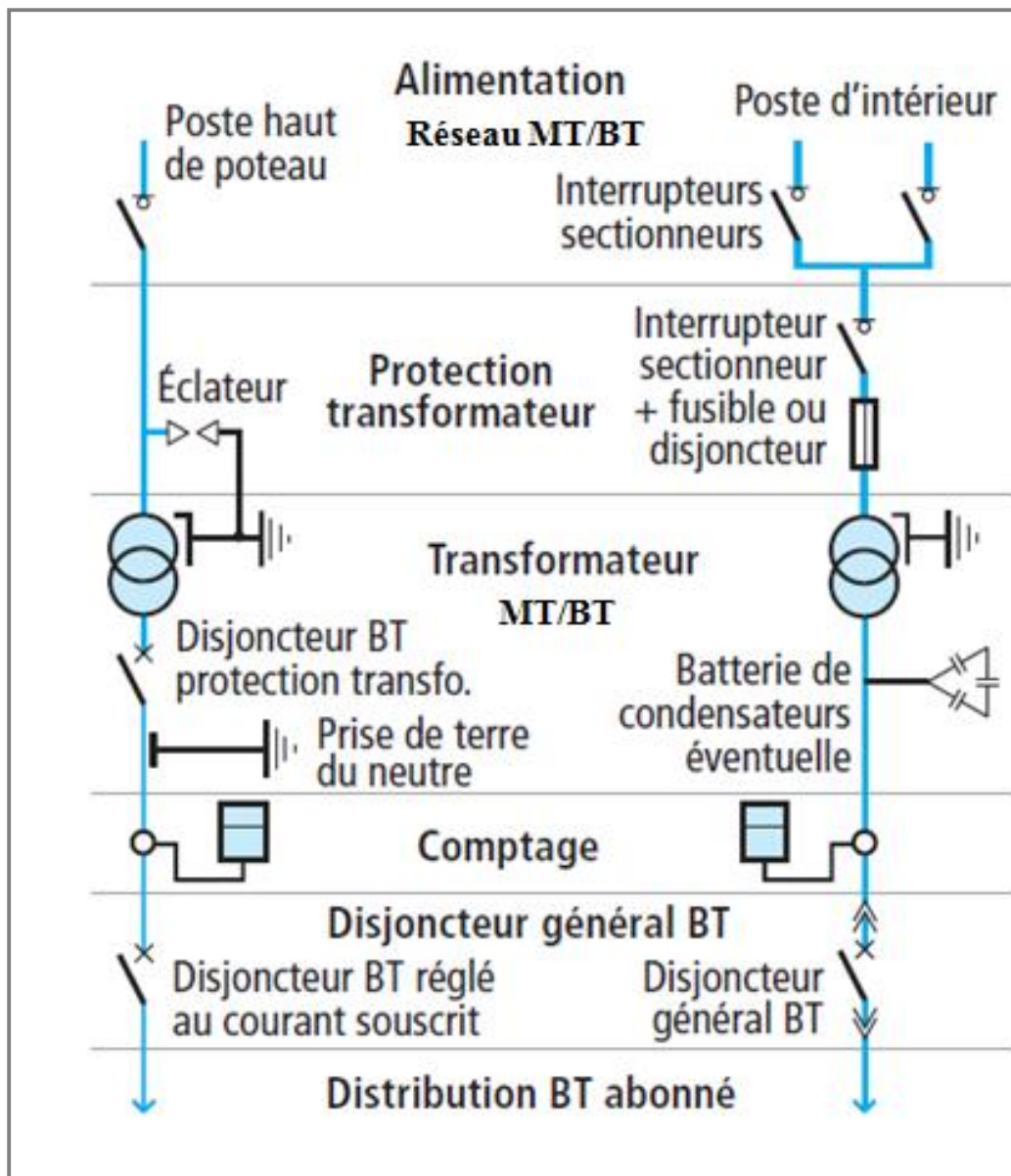


Fig. I.7. Structure générale d'un poste MT/BT. [6]

### I.7.1. Différents types des postes électriques :

On distingue deux types de postes électriques :

#### *Les postes d'extérieur :*

- Postes sur poteau : puissances 25-50-100 kVA.
- Postes préfabriqués :
  - En bas du poteau : de 100 à 250 kVA.
  - poste compact : de 160 à 1250 kVA.
- Poste maçonné traditionnel : de 160 à 1250 kVA. [6]

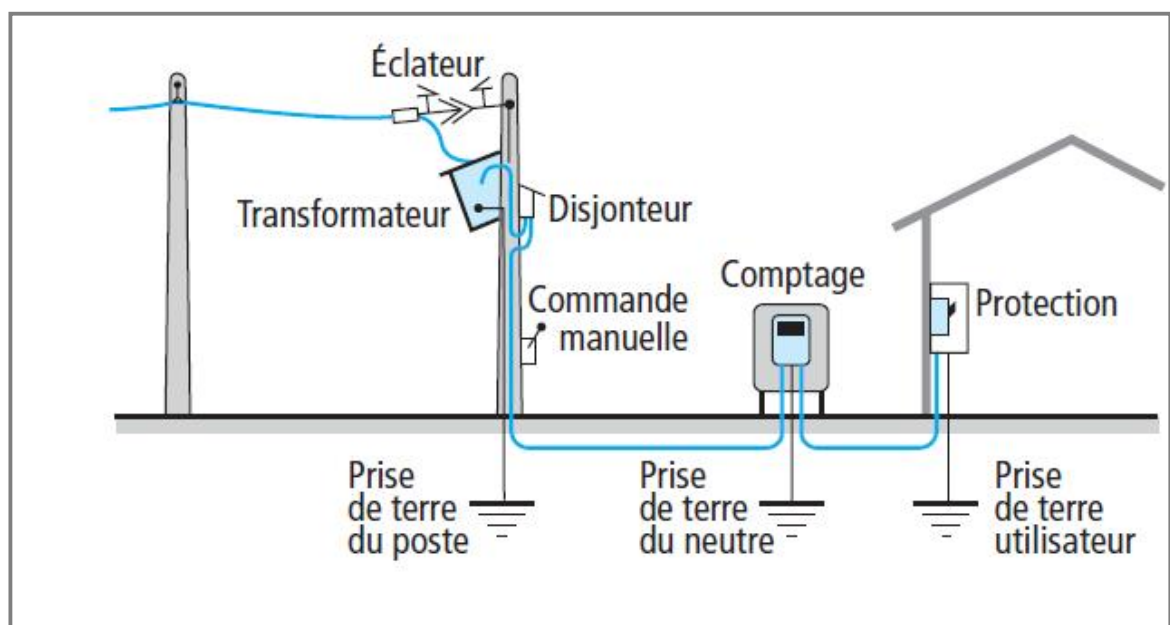
#### *Les postes d'intérieur :*

- Postes ouverts maçonnés ou préfabriqués.
- Postes en cellules préfabriquées métalliques.

Les puissances sont comprises entre 100 et 1250 kVA. Le comptage BT doit être remplacé par un comptage HT dès que l'installation dépasse 2000 A, ou s'il existe plusieurs transformateurs.

#### *I.7.1.1. Poste MT/BT en haut du poteau :*

Le transformateur et l'appareillage sont fixés sur le poteau, l'alimentation est aérienne, le départ s'effectue en aérien ou en souterrain (Voire la fig.1.8).



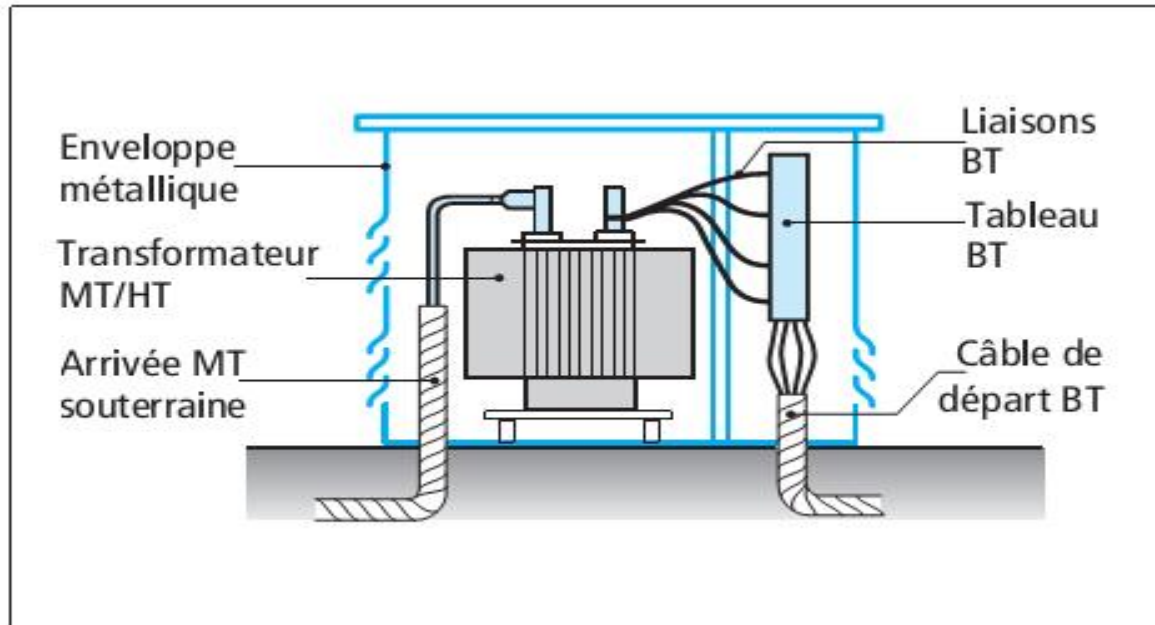
*Fig. I.8. Structure d'installation d'un poste sur poteau. [6]*

### ***1.7.1.2. Postes préfabriqués monobloc :***

Les postes préfabriqués monobloc peuvent être soit en bas de poteau, soit sur une plateforme extérieure. Le raccordement s'effectue par câble, soit au réseau aérien, soit au réseau souterrain.

Le tableau BT comporte un interrupteur avec fusible ou un disjoncteur avec coupure visible. La puissance du transformateur est comprise entre 100 kVA et 1000 kVA.

Le montage consiste à raccorder les câbles d'arrivée et départ. (Voire Fig. I.9).

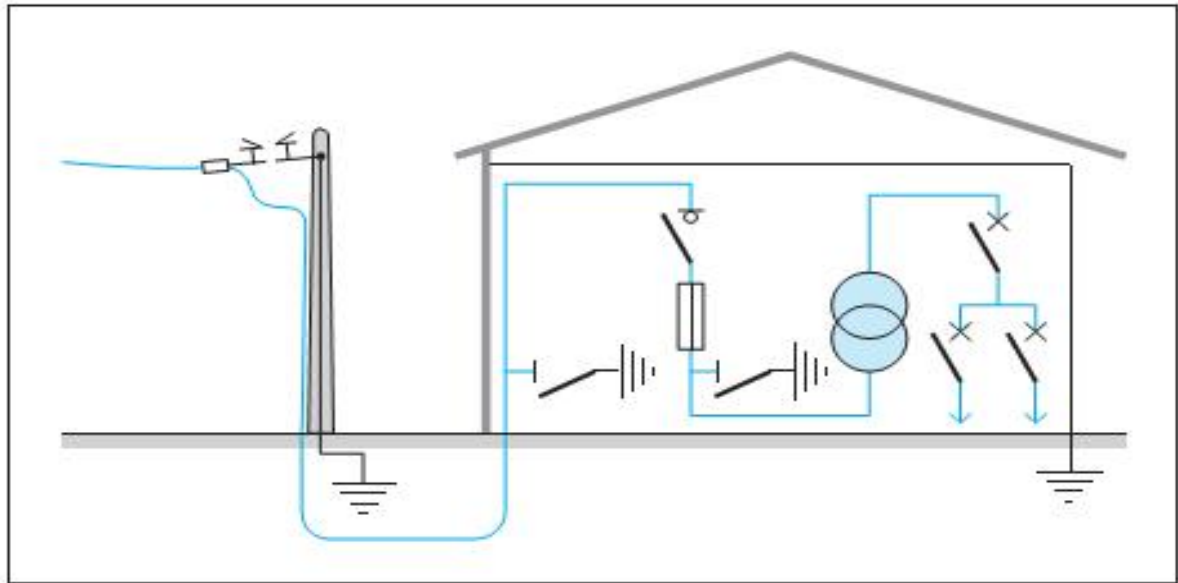


***Fig. I.9. Structure d'un poste préfabriqué compact. [6]***

### ***1.7.1.3 Postes d'intérieur :***

L'installation d'un poste de livraison en intérieur se justifie lorsqu'on doit protéger l'appareillage HT et BT du poste contre les fortes variations de température, ou dans le cas de puissance importante. On distingue les postes dont l'appareillage HT est sous enveloppe métallique et les postes équipés d'appareillage HT sans enveloppe.

Le matériel, dans ce dernier cas, est dit « ouvert ». Ces postes maçonnés sont de plus en plus remplacés par des cellules préfabriquées. Les postes avec cellule préfabriquées métalliques ont l'avantage d'offrir une meilleure sécurité et une mise en place plus rapide.



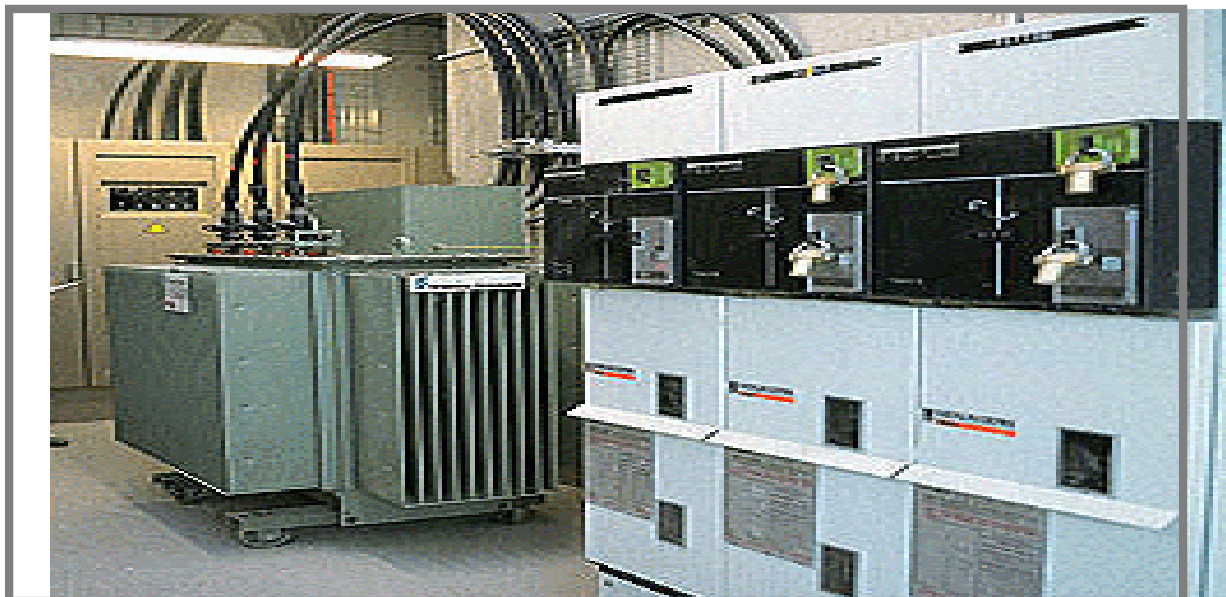
*Fig. I.10. Schéma général d'un poste ouvert. [6]*

#### ***1.7.1.4. Poste avec cellules fonctionnelles :***

Les postes avec cellules préfabriquées métalliques sont réalisés avec des cellules remplissant chacune une fonction.

Il existe une multitude de cellules différentes :

- ü Cellule d'arrivée.
- ü Cellule de protection HT.
- ü Cellule de protection BT (fusible+interrupteur ou disjoncteur). (Voire Fig. I.11).



*Fig. I.11. Postes avec cellules fonctionnelles. [6]*

## **Conclusion :**

Ce premier chapitre est consacré à l'étude des généralités sur les réseaux électrique. Une présentation des différentes structures topologiques et les différents éléments constituant le réseau électrique (postes, lignes électriques, câbles ...etc).

Cette présentation est donnée avec plus de détails pour les réseaux de distribution à moyenne tension qui constitue l'objet de notre étude.

## II.1.Introduction :

L'apparition et la propagation d'un défaut dans un réseau électrique engendre des effets néfastes sur ce dernier. Lorsqu'un défaut apparaît sur un réseau électrique, plusieurs organes de protection situés dans différentes zones du réseau peuvent détecter simultanément cette anomalie. Leur système sélectif vise à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affecté par le défaut et uniquement cette partie, en laissant sous tension les parties saines de ce réseau

## II.2.Système de protection :

### II.2.1.Définition et rôle de protection :

C'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble de façon cohérente et adapté au réseau.

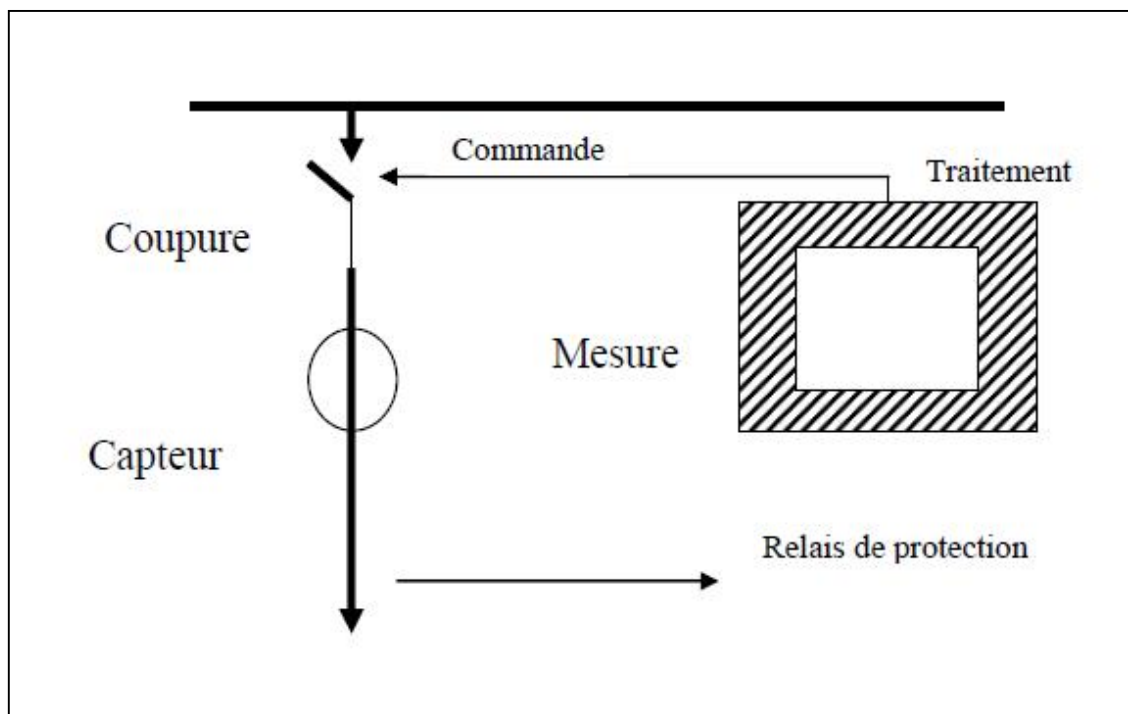
Le système de protection électrique désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique. Ces systèmes de protection permettent d'éviter les conséquences des incidents qui peuvent être dangereuses pour les personnes et pour le matériel, pour cela ils doivent :

- Assurer la protection des personnes contre tout danger électrique.
- Limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécaniques auxquelles est soumis le matériel.
- Minimiser les dommages et les coûts de réparation.
- Détection, signalisation et localisation des parties endommagées. [7]

### II.2.2.Constitution d'un système de protection :

Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants (*voir Fig. II.1*) :

- Capteur de mesure de courant et de tension fournissant les informations de mesure nécessaire à la détection des défauts.
- Relais de protection, chargé de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuse et leur commande par le circuit de déclenchement.
- Organe de coupure dont leur fonction est l'élimination de défaut (disjoncteur, interrupteur, fusible). [4]



*Fig. II.1. Chaîne de protection. [4]*

### II.2.3. Définition des éléments de la chaîne de protection :

#### II.2.3.1. Transformateur de courant :

- **Définition :**

Les transformateurs de courant utilisés pour la protection sont pratiquement similaires aux transformateurs standards, de point de vue de leur construction. Ils se composent d'un primaire et d'un secondaire couplés magnétiquement, bobinés autour d'un noyau ferrique.

Contrairement aux transformateurs de tension, le bobinage primaire des transformateurs de courant est connecté en série avec le réseau. C'est pourquoi ils doivent résister aux courants de court-circuit. [8]

- **Fonctions d'un transformateur de courant :**

La fonction d'un transformateur de courant est de fournir à son secondaire un courant ( $I_S$ ) proportionnel au courant primaire ( $I_P$ ) mesuré. L'utilisation concerne autant la mesure (comptage) que la protection.

Les transformateurs de courant ont deux fonctions essentielles :

- Adapter la valeur du courant MT du primaire aux caractéristiques des appareils de mesure ou de protection en fournissant un courant secondaire d'intensité proportionnelle réduite.

ü Isoler les circuits de puissance du circuit de mesure et /ou de protection. [8]

### ***II.2.3.2.Transformateur de tension :***

- ***Définition :***

Un transformateur de tension est un transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est pratiquement proportionnelle à la tension primaire dans les conditions normales d'emploi. Cette tension secondaire est pratiquement en phase avec la tension primaire.

- ***Fonction d'un transformateur de tension :***

Il s'agit d'un appareil utilisé pour la mesure de hautes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique (de l'ordre kV) et celle des appareils de mesure (voltmètre ou wattmètre) ou relais de protection qui est de l'ordre de centaine de volts seulement. [8]

### ***II.2.3.3.Relais de protection :***

Ce sont des dispositifs de surveillance des grandeurs électriques du réseau. Ils sont destinés à donner des ordres de coupure ou de mise hors tension du circuit de ce réseau lorsque les grandeurs qui l'alimentent franchissent un seuil prédéterminé. [8]

## **II.3.Caractéristiques de base de la protection :**

Pour qu'un système de protection accomplisse convenablement sa mission, il doit avoir les qualités suivantes :

- ***Fiabilité :*** Déclenchement suite à un défaut réel (décision sûre).
- ***Disponibilité :*** C'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état de marche.
- ***Rapidité d'action :*** Pour limiter les effets néfastes du défaut.
- ***Sensibilité :*** Détecter la moindre variation de grandeur à surveiller.
- ***Sélectivité :*** isoler seulement l'élément en défaut.
- ***Simplicité :*** pour faciliter les mises en œuvre et les maintenances.

## II.4.Choix du régime de neutre :

Le régime de neutre joue un rôle très important sur les plans de protection, car lors d'un défaut d'isolement ou de mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre.

Un neutre isolé limite les courants de défaut à des valeurs très faibles, mais favorise l'apparition des surtensions.

Par contre, un neutre mis directement à la terre limite fortement les surtensions, mais il engendre des courants de défaut très importants.

Entre ces deux extrêmes, plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre [9]

### II.4.1. Neutre mis directement à la terre :

Une liaison électrique d'impédance nulle est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre.

Le neutre étant mis à la terre sans impédance de limitation, le courant de défaut  $I_{k1}$  entre la phase et terre est pratiquement un court-circuit phase neutre, donc de valeur élevée (*fig. II.2*).

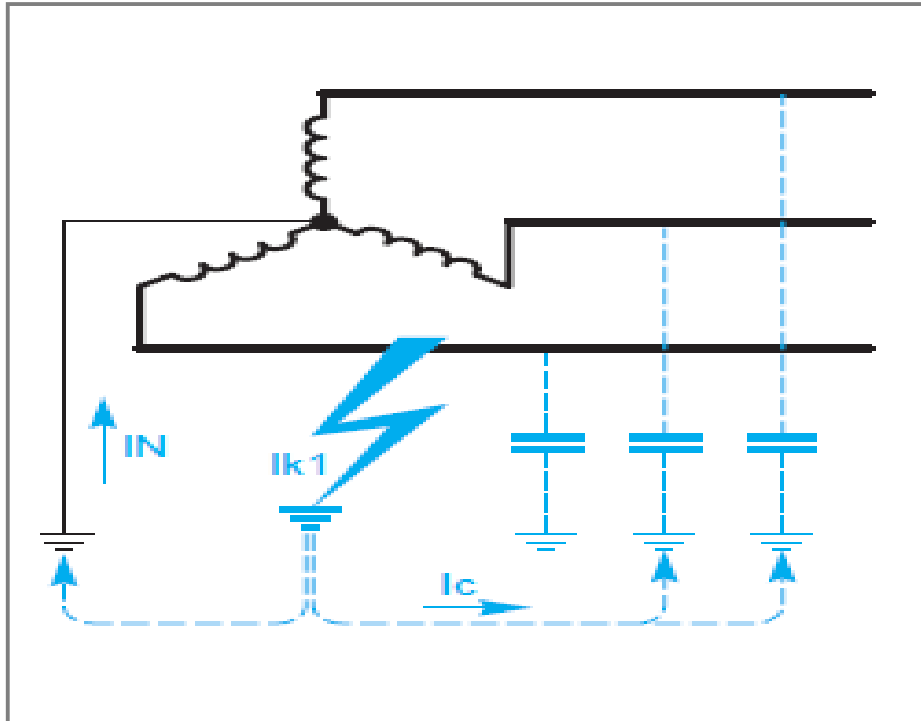
La coupure se fait au premier défaut d'isolement. [9]

#### *a. Avantage :*

- ce schéma est idéal pour l'écoulement des surtensions.
- Il permet l'emploi de matériels ayant un niveau d'isolement dimensionné pour la tension simple.
- Il n'ya pas de protections spécifiques : les protections normales des surintensités des phases peuvent être sollicitées pour éliminer les défauts phase terre francs.

#### *b. Inconvénients :*

- Un fort courant de défaut terre : dégâts et perturbation sont maximaux.
- Il n'ya pas de continuité de service du départ en défaut.
- Le danger pour le personnel est important pendant la durée des défauts car les tensions de contact qui se développent sont élevées.



*Fig. II.2. Neutre mis directement à la terre. [9]*

#### II.4.2. Neutre mis à la terre par résistance :

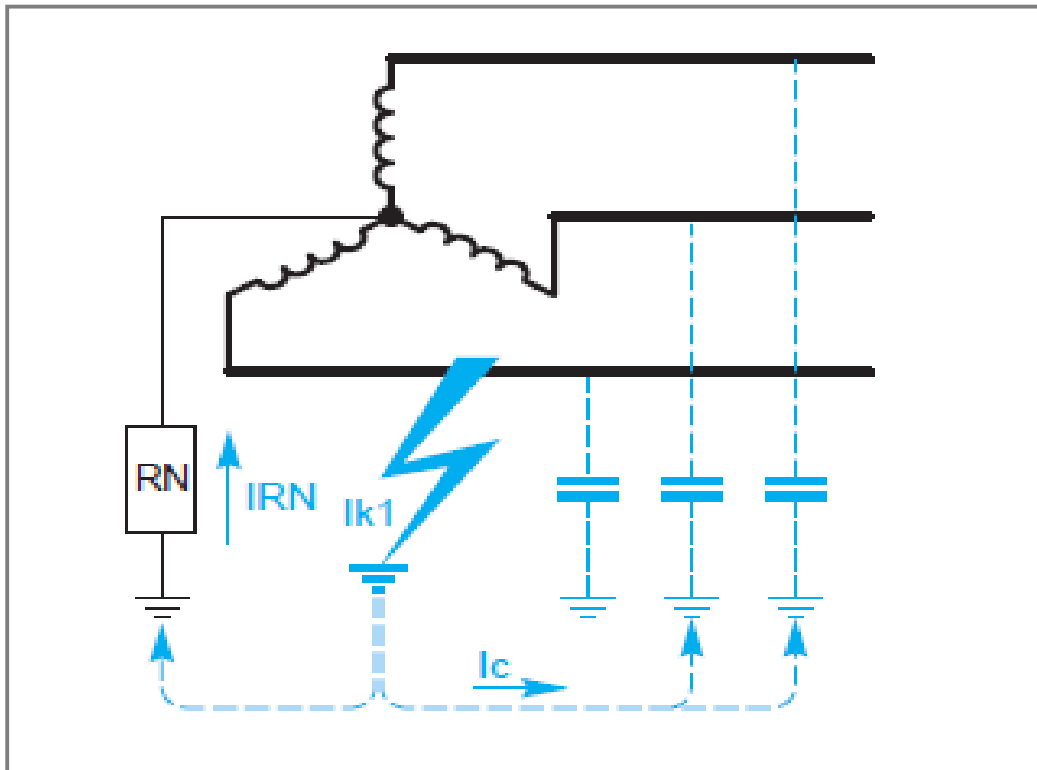
Une résistance est connectée volontairement entre le point neutre et la terre.

##### *a. Avantages :*

- Ce schéma est un bon compromis entre un courant de défaut faible et des surtensions bien éculées à la terre.
- Les protections sont simples, sélectives et le courant est limité. [9]

##### *b. Inconvénients :*

- La continuité de service du départ en défaut est dégradé, en effet, en cas de défaut terre, celui-ci doit être éliminé aussitôt (coupure au premier défaut).
- Le coût de la résistance de mise à la terre croît avec la tension et le courant limité. [9]



*Fig. II.3. Neutre mis à la terre par résistance. [9]*

#### II.4.3. Neutre mis à la terre par réactance faible :

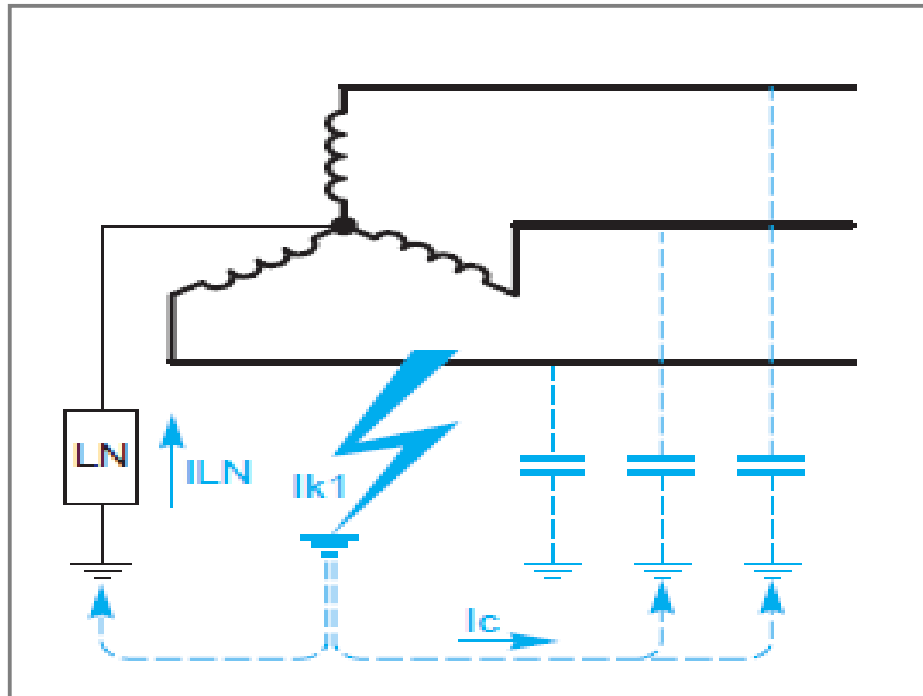
Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre. Pour les réseaux de tension supérieure à 40 kV. On préfère utiliser une réactance plutôt qu'une résistance pour des raisons de difficulté de réalisation dues au dégagement de chaleur en cas de défaut. [9]

##### *a. Avantages :*

- Ce schéma permet de limiter l'amplitude des courants de défauts.
- Il permet la mise en œuvre des protections, sélective simple si le courant de limitation est très supérieur au courant capacitif du réseau.

##### *b. Inconvénients :*

- Lors de l'élimination des défauts terre, des surtensions importantes peuvent apparaître dues à des résonances entre la réactance et la capacité du réseau.
- La continuité de service du départ en défaut est dégradée : en cas de défaut terre, celui-ci doit être éliminé aussitôt (coupure au premier défaut).



*Fig. II.3. Neutre mis à la terre par réactance faible*

#### II.4.4. Neutre mis à la terre par réactance de compensation : [9]

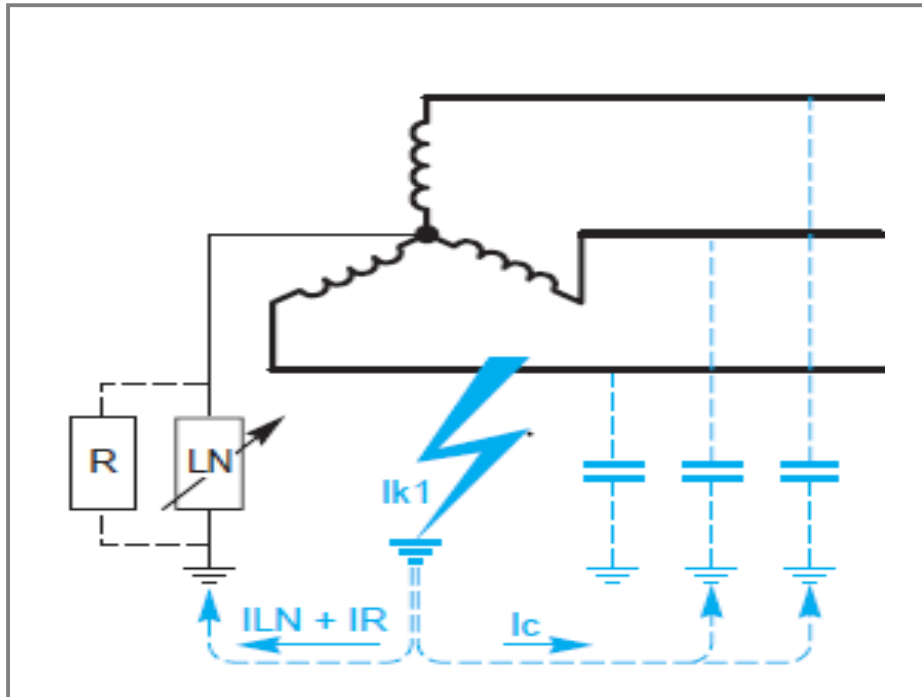
Une réactance raccordée sur la capacité phase-terre totale du réseau et intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est voisin de zéro.

##### *a. Avantages :*

- Ce système permet de diminuer les courants de défaut même si la capacité phase-terre est grande : extinction spontanée des défauts à la terre non permanents.
- Le signalement du premier défaut est donné par la détection du passage du courant dans la bobine.

##### *b. Inconvénients :*

- Pendant la durée du défaut, il faut s'assurer que le courant résiduel circulant ne présente pas de danger pour les personnes et les biens.
- Les risques des surtensions transitoires sur le réseau sont importants.



*Fig. II.5. Neutre mis à la terre par une réactance de compensation. [9]*

### II.5. Appareillage de protection :

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des équipements de surveillance et de protection assurant la stabilité de ces réseaux. Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction d'équipements coûteux et assurer une alimentation électrique continue. [11]

Les systèmes de protection des réseaux électriques sont équipés de plusieurs appareils selon la nature des défauts, surtensions ou surintensités.

Ces appareils de protection sont :

- ü Les disjoncteurs.
- ü Les sectionneurs.
- ü Les interrupteurs.
- ü Les parafoudres.
- ü Les relais.
- ü Les coupes circuit à fusible. [10]

### II.5.1. Le disjoncteur :

Un disjoncteur est un organe de protection qui est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège) à la fois :

- Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique.
- Dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit et les conséquences de la foudre.

De plus, le disjoncteur peut ouvrir un circuit automatiquement dès que le courant qui le traverse dépasse une valeur prédéterminée. Sa principale caractéristique lui permet de ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement contrairement aux fusibles.

Il est composé de deux éléments principaux :

Un système de détection.

Un système de coupure.

Suivant le moyen utilisé pour éteindre l'arc électrique lors de l'ouverture et de la fermeture du circuit, les disjoncteurs MT et HT peuvent être :

- Disjoncteur à l'huile.
- Disjoncteur à air comprimé.
- Disjoncteur sous vide.
- Disjoncteur à soufflage magnétique.

#### II.5.1.1. Choix du disjoncteur :

Le choix du disjoncteur est fonction des caractéristiques électriques du réseau sur lequel il est installé (tension nominale, pouvoir de coupure, fréquence, nombre de pôles), impératifs d'exploitation (continuité de service, sélectivité,...) et de l'environnement dans lequel il est installé (température ambiante, nature de l'installation,...).



*Fig. II.6. Disjoncteur MT.*

### ***II.5.2. Le fusible :***

C'est un appareil de protection le plus répandu dans les réseaux de distribution, son rôle est d'ouvrir par fusion le circuit dans lequel il est inséré et d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse une valeur donnée pendant une durée déterminée.

L'avantage de l'utilisation des fusibles est le coût et la simplicité d'utilisation. Cependant ils nécessitent une intervention humaine pour les remplacés.

#### ***II.5.2.1. Caractéristiques du fusible :***

Le fusible est caractérisé par :

- ***La tension nominale*** : qui est la tension que peut supporter le fusible en régime nominal.
- ***Le courant nominal*** : qui est le courant que peut supporter le fusible en régime nominal.



*Fig. II.7. Fusible MT.*

### **II.5.3. Le sectionneur :**

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

Le sectionneur ne possède aucun dispositif d'extinction de l'arc électrique (n'a aucun pouvoir de coupure), c'est pour cela qu'il ne faut jamais l'ouvrir en charge.

#### ***II.5.3.1. Les différents types des sectionneurs :***

On distingue, selon leurs rôles, deux types de sectionneurs :

- ***Sectionneur de ligne*** : reliant deux parties de réseau.
- ***Sectionneur de terre*** : permet de relier galvaniquement à la terre des parties flottantes du réseau.



*Fig. II.8. Sectionneur MT.*

#### **II.5.4. L'éclateur :**

L'éclateur est un dispositif de protection simple et constitué de deux électrodes : la première reliée au conducteur à protéger et la deuxième reliée à la terre. A l'endroit où il est installé dans le réseau, l'éclateur représente un point faible (effet pointe) pour l'écoulement des surtensions à la terre et protège ainsi le matériel.

La tension d'amorçage de l'éclateur est réglée en agissant sur la distance de l'air entre les électrodes de façon à obtenir une marge entre la tenue au choc de matériel à protéger et la tension d'amorçage au choc de l'éclateur.



*Fig. II.9. Eclateur MT avec une tige anti oiseau.*

## II.5.5. Les relais de protection :

### II.5.5.1. Définition :

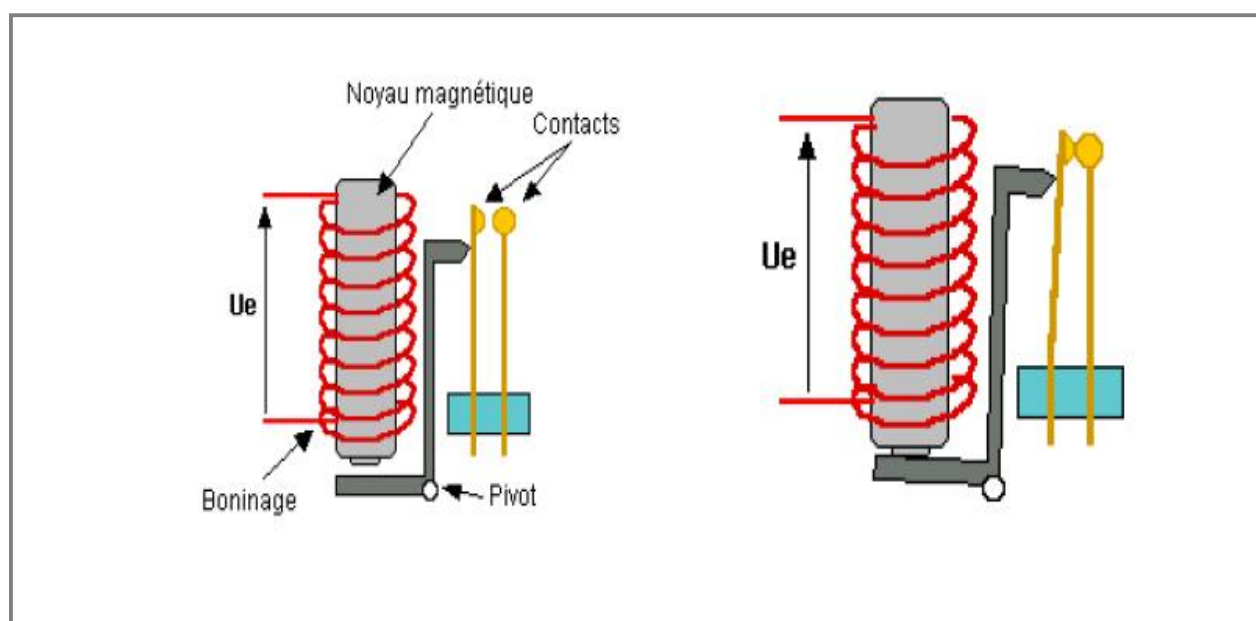
Un relais de protection est un dispositif de surveillance continue de l'état électrique du réseau. Il est destiné à donner des ordres de mise hors tension du circuit de ce réseau, siègè d'un fonctionnement anormal lorsque les grandeurs électriques qui l'alimentent (courant, tension, température...) franchissent un seuil prédéterminé.

### II.5.5.2. Différents types des relais :

On distingue différents types de relais :

#### a. Relais électromagnétique :

Un relais électromagnétique, dont son principe de commutation, s'apparente à un interrupteur mécanique dont la manœuvre ne s'effectue pas manuellement, mais en faisant circuler un courant dans le circuit d'excitation du relais. Ce circuit est constitué d'une bobine appelée bobine d'excitation ou bobine de commande. Le passage d'un courant de quelque dizaine de milliampères dans le circuit d'excitation suffit pour commander un relais. Lorsque le relais est commandé, le contact initialement en position repos passe en position travail et reste dans cette position tant qu'un courant circule dans le circuit d'excitation. Lorsque le courant dans le circuit d'excitation disparaît, le contact revient en position repos.



*Fig. II.10. Relais électromagnétique.*

**b. Relais statique :**

Il comporte des circuits intégrés linéaires au silicium composés de portes et de circuits logiques, et plus récemment, le relais statique comporte des mémoires et des microprocesseurs.

L'utilisation de ces composantes à permet la mise en point des caractéristiques plus sophistiquées.

Les relais statiques remplacent de plus en plus les électromagnétiques pour les avantages suivants :

- Plus précis
- Plus sensible
- Plus rapide
- Longue durée de vie, faible consommation et moins encombrant.

Malgré tous ces avantages, les relais statiques possèdent des manques tel que la limitation des fonctions.

**c. Relais thermique :**

Il comporte un élément actif chauffé par le passage de l'intensité de courant absorbé par l'appareil à protéger. Cet élément est une lame bimétallique qui se déforme sous l'effet de l'augmentation de la température engendrée par la surintensité.

**d. Relais numérique :**

Les relais numériques sont basés sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par les transformateurs de mesure en signaux numériques de faible voltage. L'utilisation de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs, ce qui autorise un traitement de données via des algorithmes de protection en fonction de la protection désirée. En outre, ils sont équipés d'un écran d'affichage à cristaux liquides sur la face avant pour le fonctionnement local (voir Fig. II.12).

Parmi ces relais numériques, on peut citer « **SEPAM** » qu'est constitué d'unité numérique de protections, de contrôle et de commande des réseaux de distribution électrique moyenne tension et basse tension. Il assure les fonctions suivantes :

- Protection
- Commande et surveillance
- Mesure et diagnostic du réseau électrique MT
- Communication

- Auto surveillance.



*Fig. II.12. Relais numérique.*

## II.6. Protection d'un réseau MT :

Les réseaux moyenne tension s'étendent des postes sources (transformateurs HT/MT) jusqu'aux abonnés MT ou BT en passant par des jeux de barres et des lignes aériennes ou souterraines.

La protection des réseaux MT consiste à la protection des différents équipements qui le constituent. [12]

### II.6.1. Protection des transformateurs HT/MT :

Les transformateurs HT/MT sont, généralement, protégés par des protections à maximum de courant.

- La première, côté HT : est une protection à maximum de courant à deux seuils.
  - Le premier seuil temporisé.
  - Le deuxième seuil instantané pour les courts circuits sur le primaire de transformateur.

- La deuxième, côté MT : est une protection à un seuil contre les surcharges du transformateur, elle constitue aussi une protection de secours vis-à-vis des défauts polyphasés sur les lignes MT. [12]

### **II.6.2. Protection des jeux de barres MT :**

Les jeux de barres sont rarement le siège de défaut grâce à leurs petites longueurs et leurs petits diamètres. Mais il est nécessaire de prévoir leur élimination le plus rapidement possible pour éviter tout dégât important ou déstabilisation d'une partie ou tout le réseau.

La protection des jeux de barres peut être effectuée par une protection différentielle, comme elle peut être effectuée par une protection de masse. [12]

#### ***II.6.2.1. Protection différentielle :***

Son principe repose sur la comparaison entre le courant arrivant de la source et la somme des courants sortants des départs. Si la différence est nulle, le jeu de barre est sain, dans le cas contraire, il existe un défaut et l'appareil de coupure associé se déclenche.

#### ***II.6.2.2. Protection de masse :***

Dans le cas d'une installation électrique avec neutre mis à la terre, un relais est utilisé pour la détection des défauts à la terre. Dans le cas d'un défaut d'isolement, le relais le détecte et ordonne le déclenchement de la protection associée.

### **II.6.3. Protection d'un départ :**

Les protections sont installées en tête des départs dans le poste HT/MT et dans les postes MT/BT. Le système est réalisé par des transformateurs de courant TC sur les phases avec deux relais de phase et un relais homopolaire de départ pour les différents types de courant de court circuit (entre phase ou entre phase et terre) et un relais de temps.

Ce système est destiné à mesurer toute surintensité originale d'un court circuit dépassant le seuil de réglage et par conséquent transmettre l'ordre de déclenchement au disjoncteur. [12]

#### ***II.6.3.1. Protection contre les défauts entre phases :***

Cette protection s'effectue pour chaque départ MT à l'aide de deux relais à maximum de courant à temps constant montés au secondaire de deux transformateurs de courant placés

sur deux phases. La troisième phase se trouve protégée par ces deux relais car tout défaut polyphasé intéresse au moins deux phases selon le schéma suivant (voir Fig. II.13). [12]

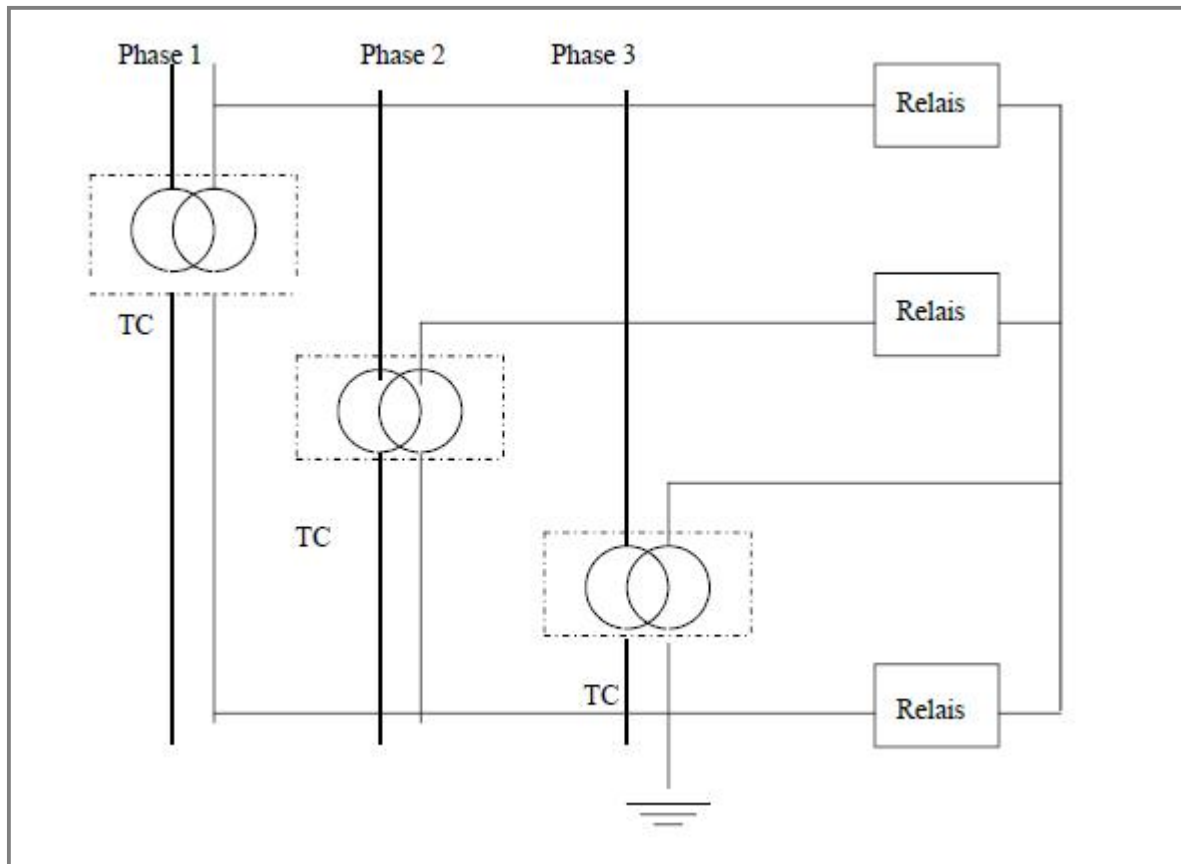


Fig. II.13. Schéma de protection contre les défauts entre phases. [12]

**a. Système de protection à un seul seuil :**

Cette protection se limite à la détection des courts-circuits.

Le réglage doit répondre aux conditions ci-dessous :

$$I_R \leq k I_{LT} \quad \text{si} \quad I_{CCB} > K I_{LT}$$

$$I_R \leq 0.85 I_{CCB} \quad \text{si} \quad 0.85 I_{CCB} < K I_{LT}$$

Avec :

$I_R$ : courant limite de la ligne.

$I_{CCB}$ : courant de court circuit biphasé à l'extrémité de la ligne.

$k$ : coefficient de surcharge admissible sur les conducteurs ( $k = 1.2$ )

D'autre part on doit vérifier aussi les conditions suivantes :

- Pour éviter les déclenchements intempestifs, on a :  
 $I_R > I_{Pointe}$

- Pour éviter le claquage des TC, on a :  
 $I_R > 2 I_n$

La temporisation est de

0,8 seconde, si on a un seul disjoncteur en aval.

1 seconde, si on a deux disjoncteurs en aval.

**b. Système de protection à deux seuils :**

Cette protection protège la ligne contre les surcharges et contre les courts-circuits éloignés prenant l'aspect de surcharge.

Ce seuil sera réglé à :

$$I_R = 1.3 I_{CC}$$

Tel que

$$I_{CC} = \frac{100 P_2}{\sqrt{3} V_{n2} V_{CC}}$$

Avec :

$I_{CC}$  : Courant de court-circuit en aval du transformateur rapporté au primaire.

$P_2$ : Puissance maximum du plus grand transformateur installé sur la ligne.

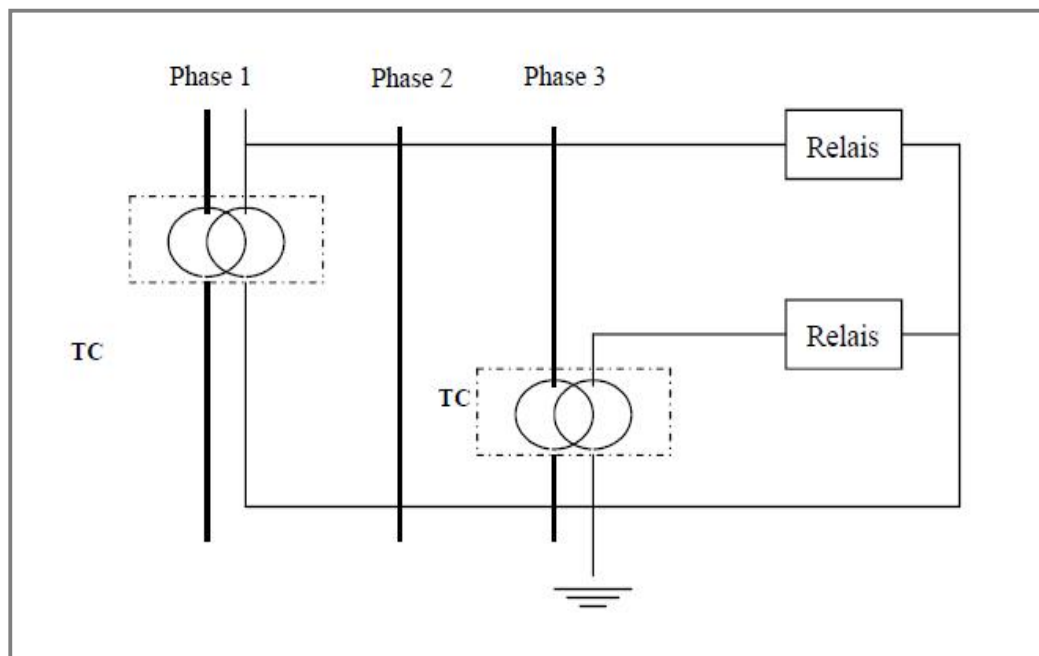
$V_{n2}$ : Tension nominale du transformateur.

$V_{CC}$  : Tension de court-circuit du transformateur en (%).

La temporisation est de 0,5 à 0,8 s ou 1 s suivant le nombre de disjoncteurs en cascade.

**II.6.3.2. Protection contre les défauts entre phase et terre :**

Elle s'effectue à l'aide d'un seul relais à maximum de courant homopolaire monté dans le circuit du neutre des trois transformateurs de courant (voir Fig. II.14). [12]



*Fig. II.14. Schéma de protection contre les défauts entre phase et terre.[12]*

### **II.7. Les automates associés aux protections des départs MT :**

Les dispositifs d'exploitation automatique de reprise de service sont des appareils qui ont pour but d'améliorer la qualité de service.

Donc il serait très pratique d'utiliser des automates tel que le réenclencheur mixte qui est capable de sélectionner la nature des défauts (fugitif, semi permanent)

Il existe deux sortes d'automates :

- Les réenclencheurs rapides pour les défauts fugitifs.
- Les réenclencheurs lents pour les défauts semi-permanents et permanents. [13]

#### **II.7.1. Dispositif de réenclenchement rapide (DDR) :**

Le disjoncteur à réenclenchement rapide ouvre le circuit lors de l'apparition d'un défaut et le referme de nouveau après un délai compris entre une fraction de seconde et quelques secondes. La séquence d'ouverture et refermeture se répète deux ou trois fois selon l'ajustement des dispositifs de commande interne. Si le court-circuit ne disparaît pas après deux ou trois tentatives de fermeture, le disjoncteur (DDR) ouvre le circuit en permanence et une équipe de réparation doit aller sur les lieux pour le réarmer. [13]

**II.7.2. Dispositif de réenclenchement lent (DDL) :**

Il a pour but d'éliminer les défauts semi permanents qui réapparaissent après un cycle de réenclenchement. Il provoque la fermeture du disjoncteur du départ avarié après un temps d'isolement relativement lent compris entre 15 à 30s.

Il effectue les opérations suivantes :

- L'ouverture temporisée du disjoncteur après l'isolement du départ en défaut.
- L'envoi de l'ordre de réenclenchement après un temps de 15 à 30s. [13]

**II.7.3. Dispositif de réenclenchement rapide et lent :**

Avec le regroupement des différentes techniques de réenclenchement (rapide et lent). Les défauts fugitifs seront éliminés par un cycle rapide, les défauts semi-permanent entraînant un cycle de réenclenchement rapide et suivi d'un cycle lent. [13]

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons énumérer les différentes protections, comment concevoir et réaliser un système de protection capable d'éliminer les risques d'accidents et de limiter les dégâts dans les matériaux, tout en maintenant la continuité de service dans les parties saines de l'installation et leurs principe de fonctionnement et comment les utiliser contre les différents défauts.

### **III.1. Introduction :**

Les réseaux de distribution d'énergie peuvent être le siège d'un certain nombre d'incidents qui sont dus, en général à l'apparition des défauts. Ces défauts sont les courts-circuits ou les surtensions.

Le dimensionnement d'une installation électrique et de matériel à mettre en œuvre et la détermination des protections des personnes et des biens nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau.

### **III.2. Définition d'un défaut électrique :**

On appelle un défaut, toute perturbation qui engendre la modification de la valeur de courant et de la tension par rapport à une valeur nominale (dépassement de seuil). Un contact involontaire entre deux conducteurs provoque une augmentation de l'intensité et peut mettre en péril l'ensemble du circuit électrique provoquant des incendies ou des accidents. Dans certains cas, un défaut peut conduire à l'effondrement électrique et la mise en danger de son environnement. [14]

### **III.3. Origines des défauts :**

Il existe de nombreux incidents qui affectent le fonctionnement d'un réseau électrique et peuvent avoir pour origine : [15]

#### **III.3.1. Défauts d'origine externe :**

Ces défauts sont des événements indépendants du réseau, dont l'origine est :

a- **Mécanique** : rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne et l'amorçage dû aux contacts de branches, de brindille ou même d'oiseaux avec les conducteurs.

b- **Atmosphérique** : qui est le cas de la foudre qui s'abat sur une ligne aérienne ou d'un poste, on peut aussi inclure les amorçages qui résultent de dépôt conducteurs accumulé les isolateurs et les travaux de terrain qui entraîne systématiquement des défauts permanant sur les câbles tous-terrains.

#### **III.3.2. Défauts d'origine interne :**

Ces défauts sont des phénomènes propre au réseau car ils prennent naissance a l'intérieure même du réseau sans être justifié par aucune autre cause extérieure. On peut citer le cas des surtensions dues à des phénomènes de résonance, les surintensités qui peuvent être produites par un courant de surcharge, un court-circuit ou un défaut d'isolement et l'ouverture d'un circuit électrique en charge.

### **III.4. Différents types de défauts :**

Les différents types de défaut qu'on rencontre sont les surintensités, surtensions et les déséquilibres.

#### **III.4.1. Surintensité :**

L'origine des surintensités sont les surcharges et les courts-circuits. [15]

**III.4.1.1. Surcharges :** Elles peuvent se produire de deux façons :

- **Surcharge normale :** elles produisent en particulier lors de la mise sous tension des transformateurs et appareils électriques divers.
- **Surcharges anormales :** elles se produisent lorsque les appareils installés sont trop puissants pour la ligne d'alimentation ou le travail demandé aux machines est exagéré d'où l'échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration des installations.

**III.4.1.2. Courts-circuits :**

Ils sont dus à un contact accidentel entre phases ou entre une phase et terre, soit un défaut d'isolement, soit une fausse manœuvre. L'augmentation de l'intensité maximale peut être très élevée d'où les risques d'accidents.

#### **III.4.2. Les surtensions :**

C'est le passage de la tension à une valeur supérieure à la valeur nominale. Les surtensions peuvent être d'origine externe ou interne. [15]

- **Surtension d'origine externe :**

Elles sont produites par l'électricité atmosphérique, dues à des coups de foudres directes sur une ligne, sur un pylône ou bien à des coups de foudre indirect (électromagnétique, électrostatique).

- **Surtension d'origine interne :**

Toute perturbation dans un circuit provoqué par induction d'une variation rapide et momentanée de la tension. Par exemple ouverture et fermeture d'un circuit, claquage d'un isolant.

#### **III.4.3. Le déséquilibre :**

On parle de déséquilibre dans un système triphasé lorsque les trois tensions de ce dernier ne sont pas égales en amplitudes et / ou ne sont pas déphasés les unes par rapport aux autres de 120°. Le déséquilibre est causé par un court-circuit, une rupture de phase ou un mauvais fonctionnement d'un disjoncteur. [15]

### III.5. Caractéristiques des défauts :

Les défauts affectant un réseau moyenne tension peuvent être classés suivant leur emplacement dans le réseau, leurs durées et la difficulté de leur élimination. [14]

#### III.5.1. Leurs emplacements :

On peut distinguer :

• Les défauts qui affectent, en aval les disjoncteurs protégeant les départs MT, les réseaux proprement dits, c'est à dire les lignes aériennes et les câbles isolés, qui constituent les antennes principales et les dérivations, ainsi que la partie MT postes MT/BT.

• Les défauts qui affectent la partie MT des postes HT/MT, en amont des disjoncteurs. [14]

#### III.5.2. Leurs durées :

Il y a plusieurs sortes de défauts selon la durée de la mise hors tension de la partie défectueuse qui dépend de la valeur atteinte de la tension et celle de l'intensité du courant, alors les défauts sont dits : [14]

- **Permanents :**

Après avoir convoqué un déclenchement définitif, nécessitant du personnel d'exploitation pour la reprise du service. Ces défauts résultent des défauts qu'on peut constater en réseau tels que rupture de condensateur, claquage d'isolateurs,...

- **Semi-permanents :**

Ils exigent, pour disparaître, un ou plusieurs coupures relativement lentes du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dizaines de secondes), mais qui ne nécessitent aucune intervention du personnel d'exploitation pour la reprise de service.

- **Fugitifs :**

Ils nécessitent, pour disparaître, une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de secondes).

- **Auto extincteurs :**

Ils disparaissent spontanément en des temps très courts sans provoquer de déclenchement sur le réseau. On rencontre ce type de défauts sur le réseau MT en cas de défaut monophasé.

- **Intermittents :**

Ils se répètent à des temps proches et ils s'éliminent d'eux même (cas de balancement d'un conducteur sous l'effet d'un vent violent).

### **III.6. Conséquences des défauts : [8]**

Les courts-circuits sont des défauts néfastes :

- Ü au fonctionnement des réseaux.
- Ü à la tenue du matériel.
- Ü à la qualité de la fourniture.
- Ü aux circuits de télécommunications.
- Ü à la sécurité des personnes.

#### **III.6.1. Fonctionnement des réseaux :**

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à redouter sur les réseaux THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance. Les courts-circuits, surtout lorsqu'ils sont polyphasés et proches des centrales, entraînent une diminution du couple résistant des machines et donc une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur. S'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité des groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronismes préjudiciables aux matériels. [8]

#### **III.6.2. Tenue du matériel :**

Les courts-circuits provoquent des surintensités violentes qui dans le cas de défauts triphasés, peuvent dépasser 20 à 30 fois le courant de service normal. Ces surintensités amènent deux types de contraintes :

- Ü Des contraintes thermiques dues au dégagement de chaleur par effet joule dans les conducteurs.
- Ü Des contraintes mécaniques dues aux efforts électrodynamiques, ceux-ci entraînent notamment le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs, ces efforts, s'ils dépassent les limites admises lors de la construction, sont souvent à l'origine d'avaries graves.

De plus l'arc électrique consécutif à un court-circuit met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer des dégâts importants aux matériels et même être dangereux pour le personnel travaillant à proximité. C'est le cas, par exemple, des matériels sous enveloppe métallique sur lesquels les courts circuits internes sont susceptibles d'entraîner le percement des enveloppes. [8]

#### **III.6.3. Qualité de la fourniture :**

Dans la plupart des cas, les courts-circuits se traduisent pour les utilisateurs par des chutes de tension dont l'amplitude et la durée sont en fonction des différents facteurs tel que la nature du court-circuit, la structure du réseau affecté, le mode d'exploitation du réseau, le mode de mise à la terre du neutre, la performance des protections. Ces

perturbations peuvent aller du creux de tension ou de la microcoupure jusqu'à l'interruption complète de la fourniture. [8]

#### **III.6.4. Circuit de télécommunication :**

La présence d'un court-circuit dissymétrie entre une ou deux phases d'une ligne d'énergie et la terre entraîne la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par le point neutre du réseau. Une tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant, apparaît sur les lignes de télécommunication qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie.

Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunication. [8]

#### **III.6.5. Explosion du disjoncteur :**

La valeur importante du courant de court-circuit peut provoquer l'explosion du disjoncteur, particulièrement si celui-ci d'un type ancien et il est placé sur les réseaux MT alimenté par des transformateurs HT/MT de grande puissance. [8]

#### **III.6.6. La sécurité des personnes :**

La mise sous tension accidentelle des masses, les élévations de potentiel liées à l'écoulement des courants de défauts à la terre, les conducteurs tombés au sol, ...etc., sont autant des situations pouvant présenter des risques pour la sécurité des personnes, le mode de mise à la terre des points neutres joue un rôle essentiel. Certains défauts sont difficiles à identifier et présentent d'autant plus de risques. En MT, on cite un chiffre de l'ordre de 15 % pour le nombre de défauts permanents qui ne sont pas détectés. [8]

#### **III.7. Utilité de calcul du courant de court-circuit :**

Il est impératif de connaître la valeur du courant du court-circuit **I<sub>cc</sub>** à tous les endroits d'une installation, où on veut placer un dispositif de protection (fusible ou disjoncteurs ) chargé d'interrompre ce court-circuit. Il faut en effet s'assurer que le pouvoir de coupure du fusible ou du disjoncteur est bien supérieur au courant de court-circuit à cet endroit.

L'incapacité d'un fusible ou d'un disjoncteur d'interrompre un courant de court-circuit peut conduire à des résultats catastrophiques. En effet, deux valeurs du courant de court-circuit doivent être déterminées :

Û Sa valeur maximale, quand le court-circuit se produit aux bornes de l'organe de protection, et dans le cas le plus défavorable (défaut triphasé).

Ü Sa valeur minimale, quand le court-circuit se produit à l'extrémité de la liaison protégée, c'est-à-dire à l'entrée du prochain organe de protection, et dans le cas le plus favorable (défaut biphasé). [15]

#### ***La valeur maximale définit :***

- Le pouvoir de coupure nécessaire du fusible ou du disjoncteur chargé de la protection à cet endroit.

- Le pouvoir de fermeture nécessaire de ce même disjoncteur (en cas de fermeture sur un court-circuit).
- La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage électrique.

***La valeur minimale définit :***

- Le choix de la courbe de déclenchement du disjoncteur ou du fusible, assurant la sélectivité des déclenchements.

**III.8. Facteur influençant la valeur du  $I_{cc}$  :**

La valeur de l'intensité du courant de court-circuit en un point donné d'un réseau est en fonction :

- De la nature des éléments qui constituent le réseau : alternateurs, transformateurs, lignes et câbles.
- La structure topologique du réseau, (radial, bouclé, maillé).
- Du mode d'exploitation du réseau : neutre isolé ou neutre relié à la terre.
- De la résistance du défaut.
- Du type de défaut : triphasé, biphasé ou monophasé. [15]

**III.9.Méthode de calcul des courants de courts-circuits :**

**III.9.1.Méthodes des composantes symétriques :**

La méthode des composantes symétriques a été développée pour la première fois en 1918 par *L.C.Fortescue*. C'est une technique très puissante pour l'analyse des systèmes triphasés déséquilibrés. Cette méthode définit une transformation linéaire des composantes de phase en un nouveau système de composantes dites " composantes symétriques ".

L'avantage de cette méthode est que pour les réseaux équilibrés triphasés, les circuits équivalents obtenus des composantes symétriques appelés "schémas équivalents des séquences ", sont séparés en trois circuits indépendants non couplés. Nous verrons par la suite, que pour les réseaux triphasés déséquilibrés, les trois circuits des séquences sont reliés entre eux uniquement au point de déséquilibre. Cela a pour conséquence de rendre assez simple et aisée l'analyse de nombreux problèmes des réseaux triphasés déséquilibrés.

Par ailleurs, cette méthode n'est autre qu'une technique de modélisation permettant l'analyse systématique et la conception des réseaux électriques triphasés. Le fait de découpler un réseau triphasé détaillé en trois réseaux simples des séquences, permet d'exprimer en termes beaucoup plus simples des phénomènes complexes. [1]

### III.9.1.1. Définition des composantes symétriques :

Considérons un système triphasé de tensions  $\bar{V}_a, \bar{V}_b, \bar{V}_c$  déséquilibrées, en concordance avec Fortescue. Ces tensions de phases sont converties en trois systèmes de composantes comme suit :

- Ø Les composantes de séquence directe qui consistent en un système de trois phases de même amplitude et déphasés entre eux de  $\pm 120^\circ$  et de séquence  $abc$ . (Fig.III.1)
- Ø Les composantes de séquence inverse qui consistent en un système de trois phases de même amplitude et déphasés entre eux de  $\pm 120^\circ$  et de séquence  $acb$ . (Fig.III.2)
- Ø Les composantes de séquence homopolaire qui consistent en un système de trois phases de même amplitude et de déphasage nul. (Fig.III.3)

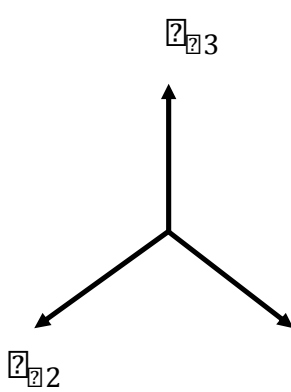


Fig.III.1.Système direct

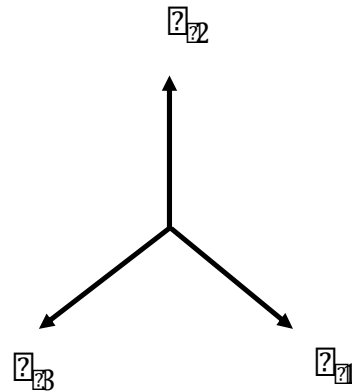


Fig.III.2.Système inverse

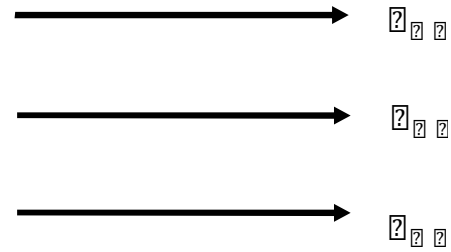


Fig.III.3.Système homopolaire

Le principe de la méthode des composantes symétriques consiste à ramener un système de trois vecteurs quelconques à trois systèmes de vecteurs symétriques.

Pour faciliter cette opération, on fait appel à un nouvel opérateur appelé «  $a$  ».

Un vecteur  $V$  affecté de l'opérateur «  $a$  » est un vecteur  $aV$  qui est déphasé de  $120^\circ$  en avant par rapport au vecteur  $V$ , le sens de déphasage étant le sens trigonométrique ou anti-horaire.

Un vecteur  $V$  affecté de l'expression  $a^2$  est un vecteur  $a^2V$  qui est déphasé de  $240^\circ$  en avant par rapport au vecteur  $V$ , le sens de déphasage étant le sens trigonométrique ou anti-horaire. La figure (III.4) explique la disposition des vecteurs affectés de l'opérateur «  $a$  ».

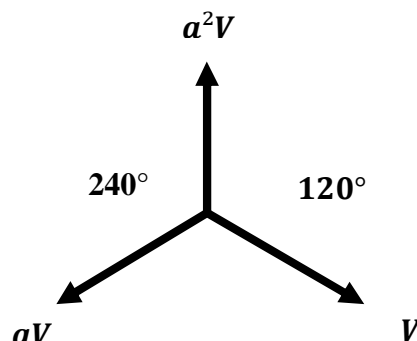


Fig.III.4.disposition des vecteurs affectés de l'opérateur  $a$

Un déphasage avant ou arrière de  $360^\circ$  fait coïncider le vecteur  $a^3V$  avec le vecteur  $V$ .

$a$  à pour propriété remarquable :

$$1 + a + a^2 = 0$$

### III.9.1.2. Décomposition d'un système triphasé :

Par définition, chaque vecteur de chaque phase est la somme de trois vecteurs appartenant chacun à l'un des systèmes ; direct, inverse et homopolaire.

$V_{d1}, V_{d2}, V_{d3}$  : Vecteurs constituant le système direct.

$V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}$  : Vecteurs constituant le système inverse.

$V_{o1}, V_{o2}, V_{o3}$  : Vecteurs constituant le système homopolaire.

**On peut écrire :**

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_{d1} + \bar{V}_{i1} + \bar{V}_{o1} = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_o \dots \dots \dots (1) \\ \bar{V}_2 = \bar{V}_{d2} + \bar{V}_{i2} + \bar{V}_{o2} = a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i + \bar{V}_o \dots \dots \dots (2) \\ \bar{V}_3 = \bar{V}_{d3} + \bar{V}_{i3} + \bar{V}_{o3} = a\bar{V}_d + a^2\bar{V}_i + \bar{V}_o \dots \dots \dots (3) \end{cases}$$

**La construction des composantes symétrique donne :**

$$\begin{cases} \bar{V}_d = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + a\bar{V}_2 + a^2\bar{V}_3) \\ \bar{V}_i = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + a^2\bar{V}_2 + a\bar{V}_3) \\ \bar{V}_o = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) \end{cases}$$

Pour chaque système respectivement direct, inverse et homopolaire, les tensions :  $V_d, V_i, V_o$  et les courants :  $I_d, I_i, I_o$  sont liés par les impédances  $Z_d, Z_i, Z_o$  du même système.

Les impédances symétriques sont fonction des impédances réelles, notamment des impédances mutuelles.

$$\begin{cases} \bar{V}_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d \bar{I}_d \\ \bar{V}_i = \bar{E}_i - \bar{Z}_i \bar{I}_i \\ \bar{V}_0 = \bar{E}_0 - \bar{Z}_0 \bar{I}_0 \end{cases}$$

En fonctionnement normal le système est réduit à la composante directe ( $V_d, a^2V_d, aV_d$ ).

En fonctionnement perturbé, on simplifiera les écritures :

▼ Par l'application du principe de superposition des états, c'est-à-dire  $I=0$  avant le fonctionnement perturbé.

▼ En admettant que, par construction, les générateurs sont équilibrés, donc  $E_d = E$  et  $E_i = E_0 = 0$ .

Les équations générales d'un défaut :

$$\begin{cases} \bar{V}_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d \bar{I}_d \\ \bar{V}_i = -\bar{Z}_i \bar{I}_i \\ \bar{V}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{I}_0 \end{cases}$$

### III.9.1.3. Analyse du défaut :

On distingue trois types de défauts :

- ▼ Triphasé
- ▼ Biphasé
- ▼ Monophasé

Chacun de ces trois défauts est caractérisé par :

- Un système d'équations qui met en jeu les tensions entre chaque phase et terre.

Un système d'équation faisant intervenir les courants de chaque phase.

Pour étudier un défaut, on doit :

- Ecrire les équations caractérisant le défaut.
- Ecrire le système d'équation du principe de superposition.
- Résoudre le système global en introduisant un opérateur mathématique  $\mathbf{a}$ .

Le principe de superposition permet de déterminer les relations entre les trois systèmes.

Pour les composantes des tensions, on a :

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots \dots \dots (1) \\ \bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots \dots \dots (2) \\ \bar{V}_3 = a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots \dots \dots (3) \end{cases}$$

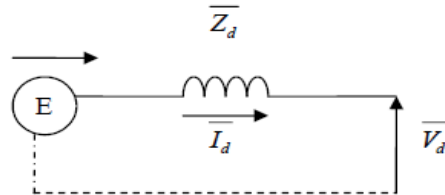
Pour les composantes des courants, on a :

$$\begin{cases} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_0 \\ \bar{I}_2 = a^2 \bar{I}_d + a \bar{I}_i + \bar{I}_0 \\ \bar{I}_3 = a \bar{I}_d + a^2 \bar{I}_i + \bar{I}_0 \end{cases}$$

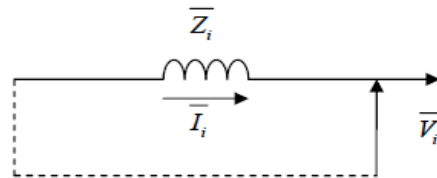
Du régime direct avec la f.é.m. et l'impédance Z, on a :  $\bar{V} = \bar{E} - \bar{Z}\bar{I}$

D'où :

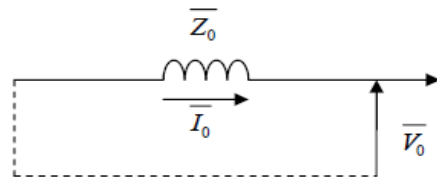
$$\bar{Z}_d \bar{I}_d + \bar{V}_d = \bar{E}$$



$$\bar{Z}_i \bar{I}_i + \bar{V}_i = 0$$



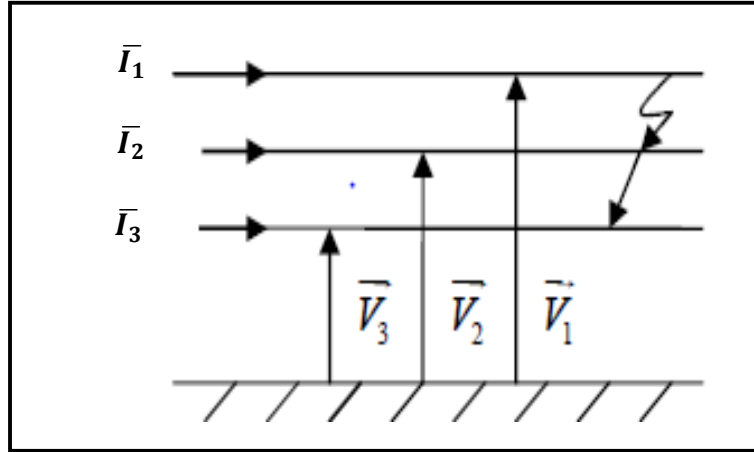
$$\bar{Z}_0 \bar{I}_0 + \bar{V}_0 = 0$$



### III.10.1. Calcul du courant de court-circuit triphasé :

En cas de défaut triphasé, les tensions au point de défaut sont nulles. (Fig.III.5)

On aura :  $\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$



*Fig.III.5. Court-circuit triphasé*

Comme

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots \dots \dots (2)$$

$$\bar{V}_3 = a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0 \dots \dots \dots (3)$$

On déduit que :  $V_d = V_i = V_0 = 0$

**En appliquant les équations de superposition, on aura :**

$$\bar{I}_d = \frac{\bar{E}}{Z_d} \quad \text{et} \quad \bar{I}_i = \bar{I}_0 = 0$$

Au point de défaut, les courants constituent un système direct, donc :

$$\bar{I}_{ccT} = \frac{\bar{E}}{Z_d} = \frac{\bar{V}_n}{Z_d}$$

Comme :

$$\begin{cases} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_0 = 0 \\ \bar{I}_2 = a^2 \bar{I}_d + a \bar{I}_i + \bar{I}_0 = 0 \\ \bar{I}_3 = a \bar{I}_d + a^2 \bar{I}_i + \bar{I}_0 = 0 \end{cases}$$

On aura :

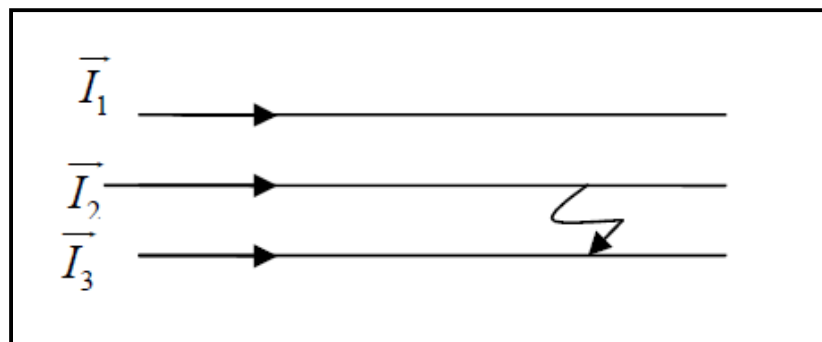
$$\bar{I}_1 = \bar{I}_d = \frac{\bar{E}}{Z_d}$$

$$\bar{I}_2 = a^2 \frac{\bar{E}}{Z_d} = a^2 \bar{I}_1$$

$$\bar{I}_3 = a \frac{\bar{E}}{Z_d} = a \bar{I}_1$$

### III.10.2. Calcul de court-circuit biphasé :

Considérons le cas d'un court circuit qui atteint les phases 2 et 3 (Figure III.6)



*Fig.III.6. Court-circuit biphasé*

On a:  $\bar{V}_2 = \bar{V}_3$

$$\bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{I}_0 = 0 \text{ (Pas de courant avec la terre)}$$

Donc :  $\bar{I}_1 =$

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o = 0 \quad \text{or} \quad \bar{I}_d = -\bar{I}_i$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 \quad \text{or} \quad \bar{V}_d = \bar{V}_i$$

En appliquant les équations de superposition, nous aurons :

$$\bar{I}_d = -\bar{I}_i = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

D'où:

$$\begin{cases} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i \\ \bar{I}_2 = a^2 \bar{I}_d + a \bar{I}_i \\ \bar{I}_3 = a \bar{I}_d + a^2 \bar{I}_i \end{cases}$$

Ce qui donne:

$$\bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{I}_2 = (a^2 - a)\bar{I}_d = (a^2 - a) \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

$$\bar{I}_3 = -(a^2 - a)\bar{I}_d = (a^2 - a) \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

On a :  $\bar{Z}_d = \bar{Z}_i$

Alors le courant de défaut biphasé sera :

$$\bar{I}_{ccB} = |\bar{I}_2| = |\bar{I}_3| = \frac{E\sqrt{3}}{2\bar{Z}_d} = \frac{\bar{U}_n}{2\bar{Z}_d}$$

$$\bar{I}_{ccB} = \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{I}_{ccT}$$

### III.10.3. Calcul de court-circuit monophasé-terre (résistant) :

Considérons le cas d'un court circuit monophasé (Figure III.7)

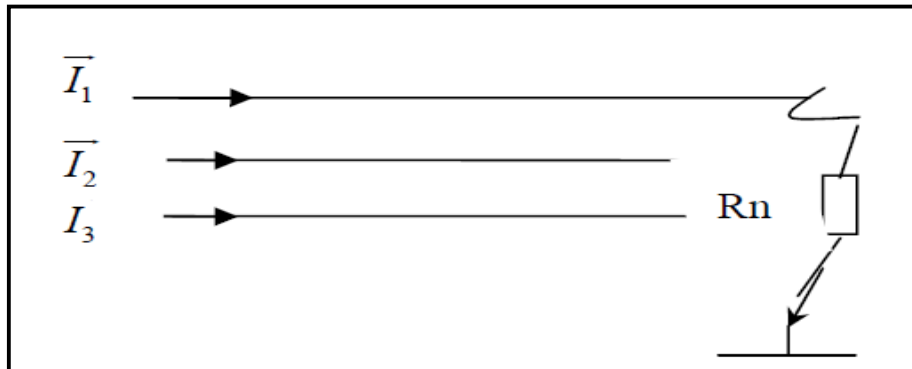


Figure III.7 : Court-circuit monophasé-terre

Les équations au point défaut sont :

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_3 = 0 \text{ (Non concernés par le défaut)}$$

$$\bar{V}_1 = 3R_n \bar{I}_0$$

$$\text{Comme : } \bar{I}_2 = \bar{I}_3 \Rightarrow \bar{I}_d = \bar{I}_i$$

$$\bar{I}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_o = 3R_n \bar{I}_0$$

$$\bar{I}_2 = 0 \Rightarrow \bar{I}_o = \bar{I}_d = \bar{I}_i$$

$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_o + \bar{Z}_d + \bar{Z}_i + 3R_n} = \bar{I}_d = \bar{I}_i$$

$$\bar{I}_1 = 3\bar{I}_0 = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_o + \bar{Z}_d + \bar{Z}_i + 3R_n}$$

Pour un défaut franc on aura :

$$\bar{I}_1 = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_o + \bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

### III.10.4. Valeur du courant de défaut à la terre :

Les courants capacitifs jouent un rôle primordial dans le calcul des courants de défaut à la terre.

La formule générale pour un défaut franc est :  $\bar{I}_1 = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$

Avec:  $\bar{Z}_0 = \bar{Z}_{0T} + \bar{Z}_{0L} + \bar{Z}_{0R}$

$\bar{Z}_{0T}$  : Impédance homopolaire du transformateur.

$\bar{Z}_{0L}$  : Impédance homopolaire de la ligne.

$\bar{Z}_{0R}$  : Impédance due à la capacité homopolaire  $C_o$  du réseau considéré et  $\bar{I}$  est la somme des courants capacitifs relatifs aux différents départs.

$\bar{E}$  : La tension simple secondaire du transformateur HT /MT.

$C_o$  : la somme des capacités homopolaires de ces départs.

$$C_o = C_{o1} + C_{o2} + \dots + C_{on}$$

Donc :

$\bar{Z}_{0R} = \frac{j}{C_o \omega}$ , avec  $C_o$  avoisine 5000 pF/km pour une ligne aérienne.

Comme :  $\bar{Z}_{0T}$ ,  $\bar{Z}_{0L}$ ,  $\bar{Z}_d$  et  $\bar{Z}_i$  peuvent être négligées devant  $\bar{Z}_{0R}$

On aura:

$$\bar{Z}_0 = \bar{Z}_{0R}$$

$$\bar{I} = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_{0R}} = \frac{3\bar{E}}{-j/C_o \omega} \quad \text{Ø} \quad I = j3\bar{E}C_o \omega$$

$\bar{I}$  déphasé de  $\frac{\pi}{2}$  sur  $\bar{E}$

Pour un défaut résistant à la terre, la valeur du courant est donnée par :

$$\bar{I} = \frac{3E}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_{0R} + 3R}$$

Comme  $Z_d$  et  $Z_i$  sont négligeables devant  $\bar{Z}_{0R} + 3R$ , on aura alors:

$$\bar{I} = \frac{3\bar{E}}{\bar{Z}_{0R} + 3R} \quad \text{Ø} \quad \bar{F} = \frac{j3\bar{E}C_o \omega}{1 + 3jRC_o \omega}$$

Donc le déphasage de  $\bar{I}$  sur  $\bar{E}$  est inférieur à  $\frac{\pi}{2}$ . [1]

### III.9.2. Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de court-circuit :

#### III.9.2.1. Définition :

La valeur réduite d'une grandeur physique donnée est le rapport de cette dernière par une autre grandeur physique de même nature, qui a été choisi arbitrairement comme référence et appelée « grandeur de base ». [16]

On choisit généralement comme grandeur de base  $S_b$  et  $U_b$  et on déduit alors :

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \quad \text{et} \quad Z_b = X_b = \frac{U_b^2}{S_b}, \quad (R_b = 0)$$

Les grandeurs réduites des différents éléments du réseau sont alors :

$$\bar{S} = \frac{S}{S_b}, \quad \bar{U} = \frac{U}{U_b}, \quad \bar{I} = \frac{I}{I_b}, \quad \bar{X} = \frac{X}{X_b}$$

#### III.9.2. 2. Changement de base :

Comme toutes les impédances doivent s'exprimer par rapport à une même impédance de base, il est nécessaire de trouver un moyen de passage d'un système à un autre.

$$Z_2^* = Z_1^* \left( \frac{U_{b1}}{U_{b2}} \right)^2 \left( \frac{S_{b2}}{S_{b1}} \right) \quad \text{par unité (PU)}$$

$U_{b1}, S_{b1}$  : Tension et puissance respectives dans l'ancienne base

$U_{b2}, S_{b2}$  : Tension et puissance dans la nouvelle base

#### III.9.2.1. réactance des éléments du réseau :

##### a. Impédance ramenée à un seul niveau de tension $U_x$ :

pour calculer le courant de court-circuit à un endroit bien déterminé du réseau, il est indispensable de ramener toutes les impédances à une certaine tension de référence  $U_x$  pour qu'on puisse utiliser les notions d'impédances série et parallèle.

Pour cela, on utilise :

$$\bar{U} = U \left( \frac{U_x}{U} \right), \quad \bar{Z} = Z \left( \frac{U_x}{U} \right), \quad \bar{I} = I \left( \frac{U_x}{U} \right)$$

$\bar{U}, \bar{Z}, \bar{I}$  : Valeurs ramenées à  $U_x$

**b. Réactance réduite des éléments constituant le réseau :**

- **Composante direct et inverse :**

Ø *Ligne :*

$$\bar{X} = X \cdot L \cdot \frac{S_b}{U_b^2}$$

**Avec :**

$X$  : réactance de la ligne

$L$  : longueur de la ligne

$S_b$  et  $U_b$  : puissance et tension de base

Ø *Alternateur :*

$$X = X''_d \frac{S_b}{S_n} \frac{U_n^2}{U_b^2}$$

**Avec :**

$X''_d$  : réactance subtransitoire.

Ø *Transformateur à deux enroulements :*

$$\bar{X}_T = U_{cc}^{12} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_n^2}{U_b^2}$$

**Avec :**

$U_{cc}$  : tension de court – circuit du transformateur

$S_n, U_n$  : puissance et tension nominale

Ø *Transformateur à trois enroulements :*

Le calcul se fait en deux étapes :

1. *La première étape :*

$$\bar{X}_{12} = U_{cc}^{12} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

$$\overline{X}_{23} = U_{cc}^{23} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

$$\overline{X}_{13} = U_{cc}^{13} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

2. *La deuxième étape :*

$$\overline{X}_1 = \frac{1}{2} (\overline{X}_{12} + \overline{X}_{31} - \overline{X}_{23})$$

$$\overline{X}_2 = \frac{1}{2} (\overline{X}_{12} + \overline{X}_{32} - \overline{X}_{31})$$

$$\overline{X}_3 = \frac{1}{2} (\overline{X}_{31} + \overline{X}_{23} - \overline{X}_{12})$$

**Remarque :**

Toutes les réactances sont ramenées au primaire.

Ø *Réseau amont :*

$$\overline{X}_a = \frac{U^2}{P_{cc}} \cdot \frac{1}{X_b}$$

**Avec :**

$P_{cc}$  : puissance de court – circuit

$U$  : tension entre phases

• **Composantes homopolaires :**

On utilise les valeurs pratiques, à savoir :

Ø *Ligne :*

$$\overline{X}_0 = 3 \cdot \overline{X}_d$$

Ø *Transformateur :*

$$\overline{X}_0 = \overline{X}_d \quad , \left(\frac{y}{y}\right) \text{ flux libre}$$

$$\overline{X}_0 = 10 \overline{X}_d \quad , \left(\frac{y}{y}\right) \text{ flux forcé}$$

$$\overline{X}_0 = \overline{X}_d$$

### **III.9.2.2.Méthode de calcul :**

- En établi le schéma équivalent au réseau , en utilisant les réactances des différents éléments.
- On ramène toutes les réactances à la tension au point de défaut.
- On simplifie le schéma en faisant les transformations  $\Delta - Y$  et  $Y - \Delta$
- En associant les réactances série et parallèle

Le courant de court-circuit correspond est égale à :

$$\bar{I}_{cc} = \frac{\bar{U}}{\sqrt{3} X_0}$$

Généralement, on prend  $\bar{U} = 1.1 U_n$  , du fait que la tension du court-circuit peut être supérieure à la tension nominale.

### **III.11. Conclusion :**

L'étude mathématique des courants de court-circuit est très importante, car elle nous renseigne sur l'ordre des grandeurs des différents types de court-circuit, ce qui nous permet de dimensionner correctement les protections.

En effet, les courants de court-circuit sont des incidents qu'il faut éliminés le plus rapidement possible pour limiter les conséquences et les effets néfastes sur le fonctionnement des réseaux, la tenue du matériel et surtout la sécurité des personnes.

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons traiter un exemple de court-circuit afin de vérifier la fiabilité des protections au niveau du poste source DBK.

Pour cela, nous prendrons un exemple de court-circuit triphasé symétrique qui provoque des courants de court-circuit les plus importants.

Le courant de court-circuit a la même valeur dans chaque phase. On peut donc faire un calcul en utilisant un schéma monophasé équivalent du réseau amont de court-circuit.

### IV.2. Description du poste simplifié de Draa Ben khedda 60 kV/ 30kV :

Le poste 60 kV/ 30 kV de Draa Ben khedda est alimenté par la ligne THT Si Mustapha vers Oued Aissi, par un injecteur à l'intermédiaire d'un transformateur 220kV/ 60 kV. (Piquage de la ligne THT au niveau de Sidi Naamane).

Son alimentation est faite par une seule ligne de 60kV, d'une distance de 5.5 km.

Ce poste source alimente les départs suivants :

Tadmait, DBK, Maatkas, Tassadort, **Boukhalfa**, Afir, Baghlia et les condensateurs.

### IV.3. Données techniques :

#### *Transformateur :*

- Niveau de tension primaire  $U = 60$  kV avec une puissance de court-circuit  $S_{cc} = 2500$  MVA.
- Niveau de tension secondaire  $U = 30$  kV avec une puissance de court-circuit  $S_{cc} = 500$  MVA.
- La puissance nominale du transformateur  $S_n = 40$  MVA.
- La tension du court-circuit  $U_{cc} = 10\%$ .
- Le courant de charge du transformateur  $I_{ch} = 410$  A.
- Le neutre MT est réglé à 60A avec une temporisation de 1,5 s.

#### *Disjoncteur :*

- Disjoncteur au SF6 (Gec Alstrom).
- Le courant nominal  $I_n = 1250$ A
- Le pouvoir de Coupure  $PC = 12.5$ kA.
- Le courant de phase  $I_k = 1200$  A avec une temporisation de  $T = 2$  s

#### IV.4. Méthode de calcul

Pour le calcul des courants de court-circuit, nous avons procédé comme suit :

1. Ramener toutes les impédances à la même tension au point de défaut
2. Simplifier le schéma en associant les impédances série et parallèle
3. Calculer les courants de court-circuit franc à la terre sur le jeu de barre, à 10m du départ de Boukhalfa et à son extrémité (à 58km).

#### IV.5. Calcul des courants des défauts :

##### IV.5.1. Valeurs des impédances :

###### a. Réseau amont :

$$R_a \approx 0$$

$$Z_a = X_a = \frac{U_n^2}{S_{cc}}$$

$$Z_a = \frac{30^2}{2500} = 0.36 \Omega$$

$Z_a = 0.36 \Omega$
---------------------

###### b. La ligne HT ramenée en MT : (L=5.5Km, S=288mm<sup>2</sup>)

Avec :

L : longueur de la ligne [km]

S : section de la ligne [mm<sup>2</sup>]

- **Résistance :**

$$R_{L,HT} = \rho \frac{L}{S} * \frac{U_2^2}{U_1^2} \quad \text{avec: } \rho = 3.3 * 10^{-6} \Omega/cm \text{ (Almelec)}$$

AN :

$$R_{L,HT} = 3.3 * 10^{-6} * \frac{5.5 * 10^5}{288 * 10^{-2}} * \frac{30^2}{60^2}$$

$R_{L,HT} = 0.157 \Omega$
---------------------------

- **Réactance :**

$$X_{L,HT} = X_0 * L * \frac{U_2^2}{U_1^2} \quad \text{avec: } X_0 = 0.40 \Omega/km$$

AN :

$$X_{L,HT} = 0.40 * 5.5 * \frac{30^2}{60^2}$$

$$X_{L,HT} = 0.55 \Omega$$

**C. transformateur à deux enroulements :**

- **Réactance :**

$$X_{tr} = \frac{U_{cc}}{100} * \frac{U_n^2}{S_n}$$

AN :

$$X_{tr} = \frac{10}{100} * \frac{33^2}{40} = 2.722 \Omega$$

$$X_{tr} = 2.722 \Omega$$

- **Résistance :**

$$R_{tr} = 0.2 * X_{tr}$$

AN :

$$R_{tr} = 0.2 * 2.722 = 0.544 \Omega$$

$$R_{tr} = 0.544 \Omega$$

**d. Ligne MT :**

- **Impédance de la ligne MT à 10m du jeu de barre: (L=10m, S=93.3mm<sup>2</sup>)**

$$X_{L,MT} = X_0 * L$$

AN :

$$X_{L,MT} = 0.40 * 0.01 = 0.004 \Omega$$

$$X_{L,MT} = 0.004 \Omega$$

- **Résistance de la ligne MT à 10m du jeu de barre :**

$$R_{L.MT} = \rho \frac{L}{S}$$

AN :

$$R_{L.MT} = 3.3 * 10^{-6} * \frac{10 * 10^2}{93.3 * 10^{-2}} = 0.0035\Omega$$

$R_{L.MT} = 0.0035\Omega$
---------------------------

- **Impédance de la ligne MT à 58 km de jeu de barre (à l'extrémité du départ Boukhalfa) :  
(L=58Km, S=93.3mm<sup>2</sup>)**

$$X_{L.MT'} = X_0 * L$$

AN :

$$X_{L.MT'} = 0.40 * 58 = 23.2 \Omega$$

$X_{L.MT'} = 23.2 \Omega$
---------------------------

- **Résistance de la ligne MT à 58 km de jeu de barre (à l'extrémité du départ Boukhalfa) :**

$$R_{L.MT'} = \rho \frac{L}{S}$$

AN :

$$R_{L.MT'} = 3.3 * 10^{-6} * \frac{58 * 10^5}{93.3 * 10^{-2}} = 20.51\Omega$$

$R_{L.MT'} = 20.514\Omega$
----------------------------

### IV.5.2. Les deux transformateurs fonctionnent séparément (fonctionnement normal) :

#### Ø Court-circuit sur le jeu de barre :

Le schéma correspondant est le suivant :

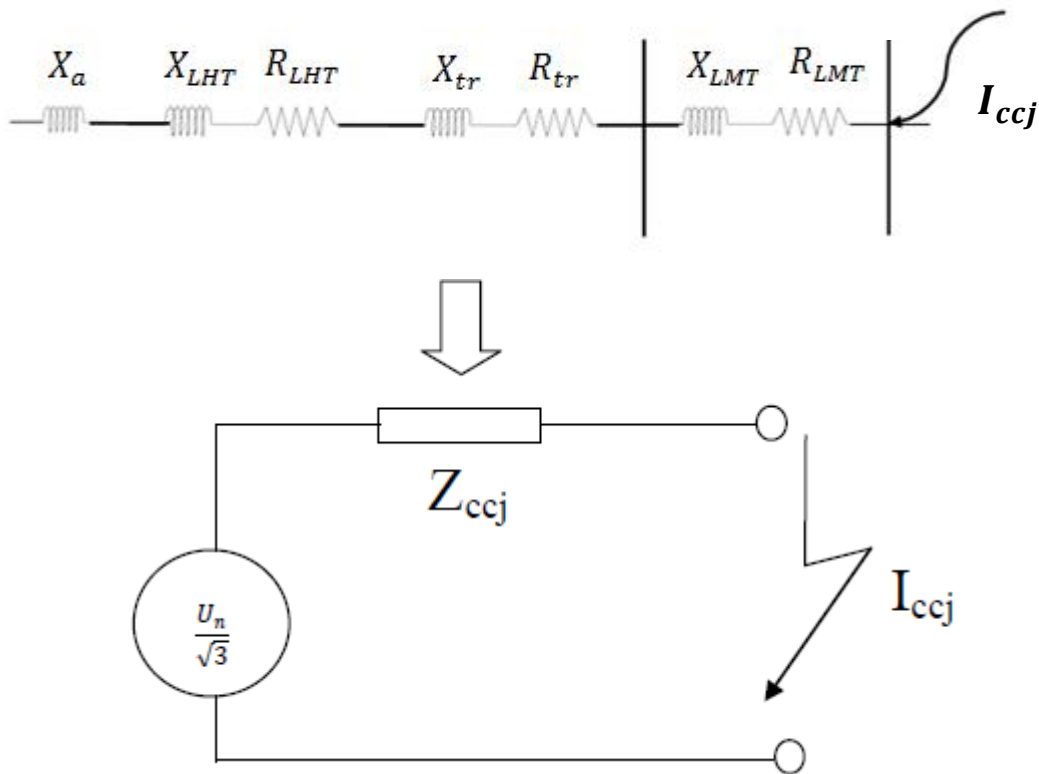


Figure IV.1 : Schéma du court-circuit sur le jeu de barre

$$I_{ccj} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{ccj}}$$

$$Z_{ccj} = \sqrt{(R_{LHT} + R_{tr})^2 + (X_a + X_{LHT} + X_{tr})^2}$$

AN :

$$Z_{ccj} = \sqrt{(0.157 + 0.544)^2 + (0.36 + 0.55 + 2.722)^2} = 3.69 \Omega$$

AN :

$$I_{ccj} = \frac{30000}{\sqrt{3} * 3.69} = 4693A$$

$$I_{ccj} = 4693 A$$

Ø *Court-circuit à 10 m du jeu de barre :*

Le schéma correspondant est le suivant

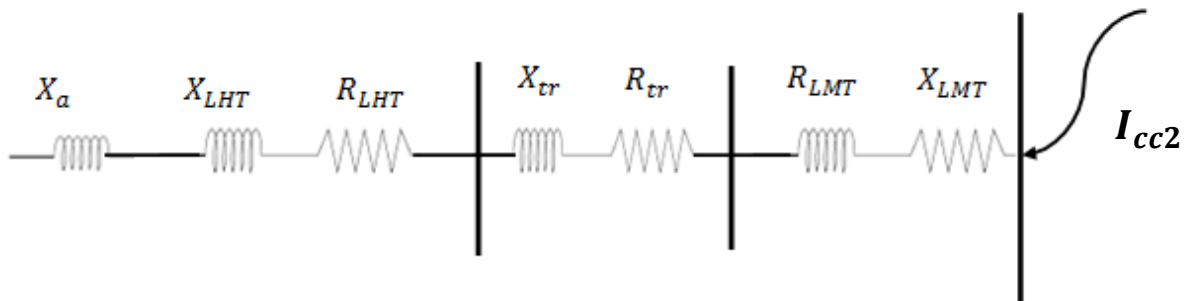


Figure IV.2 : Schéma du court-circuit à 10 m du jeu de barre

$$I_{cc2} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{cc2}}$$

$$Z_{cc2} = \sqrt{(R_{LHT} + R_{tr} + R_{LMT})^2 + (X_a + X_{LHT} + X_{tr} + X_{LMT})^2}$$

AN :

$$Z_{cc2} = \sqrt{(0.157 + 0.544 + 0.0035)^2 + (0.36 + 0.55 + 2.722 + 0.004)^2} = 3.705 \Omega$$

$$I_{cc2} = \frac{30000}{\sqrt{3} * 3.705} = 4675 A$$

$I_{cc2} = 4675 A$
--------------------

Ø *Court-circuit à 58 km du jeu de barre (à l'extrémité du départ Boukhalfa) :*

Le schéma correspondant est le suivant :

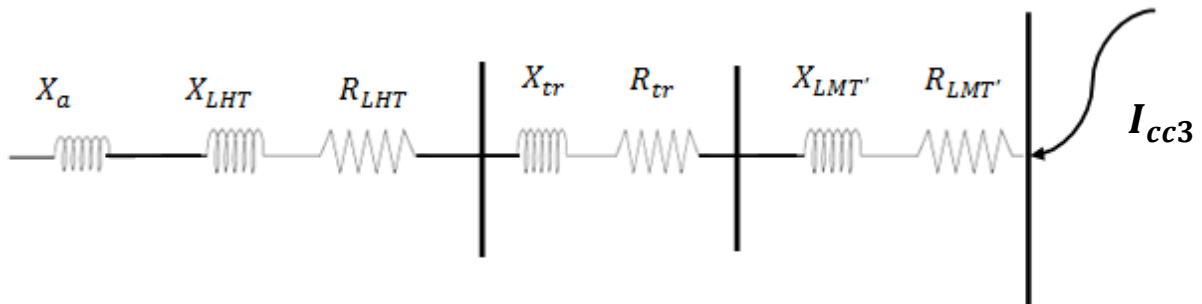


Figure IV.3 : Schéma du court-circuit à 58 km du jeu de barre

$$I_{cc3} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{cc3}}$$

$$Z_{cc3} = \sqrt{(R_{LHT} + R_{tr} + R_{LMT}')^2 + (X_a + X_{LHT} + X_{tr} + X_{LMT}')^2}$$

AN :

$$Z_{cc3} = \sqrt{(0.157 + 0.544 + 20.514)^2 + (0.36 + 0.55 + 2.722 + 23.2)^2} = 34.20\Omega$$

$$I_{cc3} = \frac{30000}{\sqrt{3} * 34.20} = 538 A$$

$I_{cc3} = 538 A$
-------------------

### IV.5.3. Les deux transformateurs fonctionnent en parallèle :

#### Ø Court-circuit sur le jeu de barre :

Le schéma correspondant est le suivant :

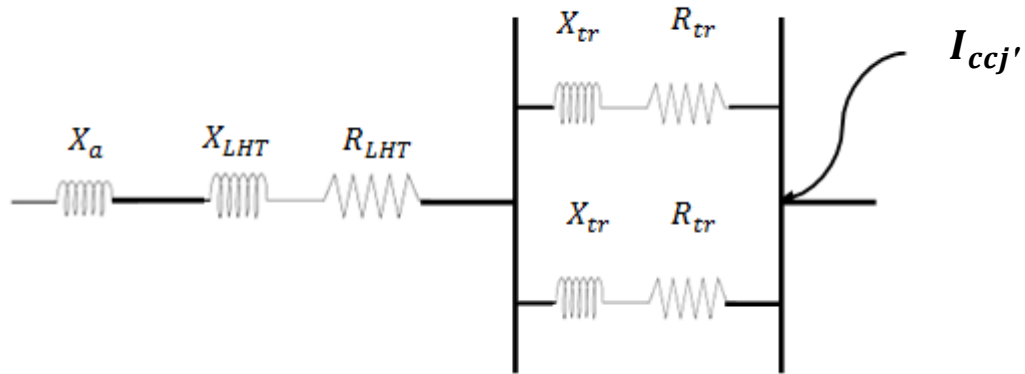


Figure IV.4 : Schéma du court-circuit sur le jeu de barre

$$I_{ccj'} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{ccj}}$$

$$Z_{ccj} = \sqrt{\left(R_{LHT} + \frac{R_{tr}}{2}\right)^2 + \left(X_a + X_{LHT} + \frac{X_{tr}}{2}\right)^2}$$

AN:

$$Z_{ccj'} = \sqrt{\left(0.157 + \frac{0.544}{2}\right)^2 + \left(0.36 + 0.55 + \frac{2.722}{2}\right)^2} = 2.31\Omega$$

$$Z_{ccj'} = 2.31 \Omega$$

AN :

$$I_{ccj'} = \frac{30000}{\sqrt{3} * 2.31} = 7498 A$$

$$I_{ccj'} = 7498 A$$

Ø **Court-circuit à 10 m du jeu de barre :**

Le schéma correspondant est le suivant :

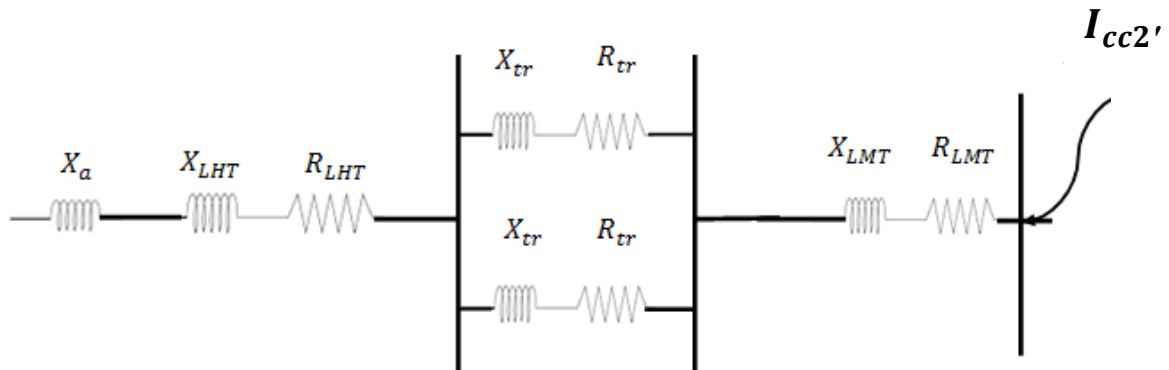


Figure IV.2 : Schéma du court-circuit à 10 m du jeu de barre

$$I_{cc2'} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{cc2'}}$$

$$Z_{cc2'} = \sqrt{\left(R_{LHT} + \frac{R_{tr}}{2} + R_{L1}\right)^2 + \left(X_a + X_{LHT} + \frac{X_{tr}}{2} + X_{L1}\right)^2}$$

AN:

$$Z_{cc2'} = \sqrt{\left(0.157 + \frac{0.544}{2} + 0.0035\right)^2 + \left(0.36 + 0.55 + \frac{2.722}{2} + 0.004\right)^2} = 2.315 \Omega$$

$$Z_{cc2'} = 2.315 \Omega$$

AN :

$$I_{cc2'} = \frac{30000}{\sqrt{3} * 2.315} = 7482 A$$

$$I_{cc2'} = 7481 A$$

Ø *Court-circuit à 58 km du jeu de barre (à l'extrémité du départ Boukhalfa) :*

Le schéma correspondant est le suivant :

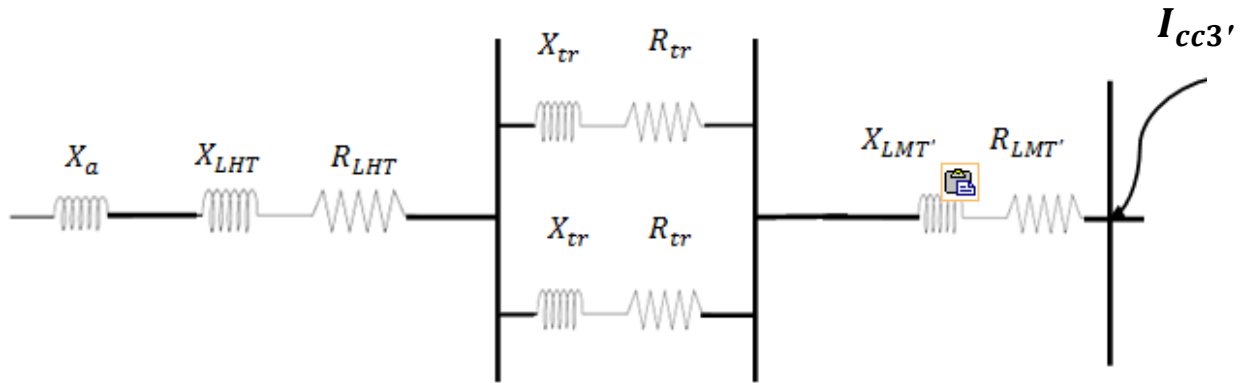


Figure IV.6 : Schéma du court-circuit à 58 km du jeu de barre

$$I_{cc3'} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{cc3'}}$$

$$Z_{cc3'} = \sqrt{\left(R_{LHT} + \frac{R_{tr}}{2} + R_{LMT}\right)^2 + \left(X_a + X_{LHT} + \frac{X_{tr}}{2} + X_{LMT}\right)^2}$$

AN :

$$Z_{cc3'} = \sqrt{\left(0.157 + \frac{0.544}{2} + 20.514\right)^2 + \left(0.36 + 0.55 + \frac{2.722}{2} + 23.2\right)^2} = 32.97 \Omega$$

$$I_{cc3'} = \frac{30000}{\sqrt{3} * 32.97} = 525.3 \text{ A}$$

$I_{cc3'} = 528.7 \text{ A}$
------------------------------

Les différentes valeurs des résistances et des réactances calculées sont résumées dans le tableau ci-dessous :

		$R(\Omega)$	$X(\Omega)$
<i>Réseau amont</i>		<i>0</i>	<i>0.36</i>
<i>Ligne HT</i>		<i>0.157</i>	<i>0.55</i>
<i>Transformateur</i>	<i>Fonctionnement séparé</i>	<i>0.544</i>	<i>2.722</i>
	<i>Fonctionnement en parallèle</i>	<i>0.272</i>	<i>1.361</i>
<i>Ligne MT</i>	<i>10m du jeu de barre</i>	<i>0.0035</i>	<i>0.004</i>
	<i>58km du jeu de barre</i>	<i>20.51</i>	<i>23.2</i>

*Tableau IV.1 : Les valeurs des résistances et les réactances calculées*

Valeurs des impédances aux différents points des courts-circuits :

	$\Sigma R(\Omega)$		$\Sigma X(\Omega)$		$Z_{CC} = \sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X)^2}$	
	$F^{ct}$ Normal	$F^{ct}$ parallèle	$F^{ct}$ Normal	$F^{ct}$ parallèle	$F^{ct}$ Normal	$F^{ct}$ Parallèle
Sur le jeu de barre	0.70	0.429	3.63	2.271	3.69	2.31
A 10m du jeu de barre	0.704	0.432	3.636	2.275	3.705	2.315
à 58 km du jeu de barre	21.21	20.943	26.832	25.471	34.20	32.97

Tableau. IV. 2 : Valeurs des impédances des différents points des courts-circuits

IV.6.Calcul du courant nominal :

$$S_n = \sqrt{3} U_n * I_n$$

d'où:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

AN:

$$I_n = \frac{40 * 10^6}{\sqrt{3} * 33 * 10^3} = 700A$$

$I_n = 700 A$
---------------

#### IV.7. Caractéristiques des disjoncteurs sur le poste de DBK :

Le tableau 3 comporte les caractéristiques des disjoncteurs MT installés dans le poste source :

<i>Valeurs normalisées</i>	<i>Disjoncteurs sur le jeu de barre 30kV</i>	<i>Disjoncteur sur le départ boukhalfa</i>
<i>Tension de service</i> $U_n$ (kV)	33	33
<i>Pouvoir de coupure</i> $I_k$ (kA)	12.5	12.5
<i>Courant nominal</i> $I_r$ (A)	1250	1250

*Tableau. IV. 3 : Caractéristiques des disjoncteurs*

#### IV.8. Valeurs obtenues :

##### 1. Fonctionnement normal :

<i>Valeurs obtenues</i>	<i>Sur le jeu de barre 30kV</i>	<i>à 10m du départ boukhalfa</i>
<i>Tension de service</i> $U_2$ (kV)	30	30
<i>Courant de court-circuit</i> $I_{cc}$ (A)	4681	4675
<i>Courant nominal</i> $I_n$ (A)	700	700

*Tableau. IV.4 : Valeurs obtenues en fonctionnement normal*

## 2. Fonctionnement en parallèle :

<i>Valeurs obtenues</i>	<i>Sur le jeu de barre 30kV</i>	<i>à 10m du départ Boukhalfa</i>
<i>Tension de service</i> $U_2$ (kV)	30	30
<i>Courant de court-circuit</i> $I_{cc}$ (A)	7498	7481
<i>Courant nominal</i> $I_n$ (A)	700	700

*Tableau. IV. 5 : Valeurs obtenues en fonctionnement parallèle*

### IV.9. Interprétation :

Le choix des disjoncteurs se fait à partir du calcul des courants des courts-circuits sur différents points du réseau bien définis. Les valeurs des tableaux 4 et 5 sont les résultats obtenus. Pour vérifier que la protection est assurée, nous allons comparer les caractéristiques des disjoncteurs installés par SONELGAZ au poste source DBK aux résultats obtenus en fonctionnement parallèle (tableau. IV.5), car c'est le cas le plus dangereux pour le réseau.

#### • Jeu de barre MT :

- Le disjoncteur placé sur le jeu de barre HTA à un pouvoir de coupure  $I_k = 12.5$  kA et un courant nominal  $I_r = 1200$ A et une tension  $U_n = 33$  kV
- La plus grande valeur du courant du court-circuit obtenu  $I_{ccj} = 7498$  A, le courant nominale délivré par le transformateur  $I_n = 700$  A et la tension  $U_2 = 30$  kV.

$$\left. \begin{array}{l} I_k > I_{ccj} \\ I_r > I_n \\ U_n > U_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{La protection est assurée.}$$

- **Le départ Boukhalfa:**

- le disjoncteur placé sur le départ Boukhalfa a un pouvoir de coupure  $I_k = 12.5 \text{ kV}$ , un courant nominal  $I_r = 1250 \text{ A}$ , et une tension  $U_n = 30 \text{ A}$ .
- la plus grande valeur du court-circuit est  $I_{cc2'} = 7481 \text{ A}$ , le courant nominal délivré par le transformateur HT/MT est  $I_n = 700 \text{ A}$  et une tension  $U_2 = 30 \text{ kV}$ .

$$\left. \begin{array}{l} I_k > I_{cc2'} \\ I_r > I_n \\ U_n > U_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{La protection est assurée.}$$

#### IV.9. Conclusion :

Après avoir fait le calcul des courants de court-circuit concernant le poste source DBK et le départ *Boukhalfa*. Nous constatons que les valeurs les plus défavorables obtenues sont inférieures à celles données par la SONELGAZ, ce qui nous permet d'affirmer que la sécurité des personnes et du matériel est assurée par les disjoncteurs existants.

## Conclusion générale

Les protections des réseaux électriques doivent être conçues pour protéger non seulement les ouvrages mais aussi tout le système électrique dont l'équilibre est fragile.

On a donc besoin de protections individuelles dont les performances en rapidité, fiabilité et sélectivité sont fixées par les besoins des réseaux qu'il faut aussi combiner pour former un véritable plan de protection de l'ensemble du système.

Le travail que nous avons effectué nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des protections électriques d'un réseau de distribution MT. Nous avons étudié les moyens de protection des réseaux MT qui sont une condition nécessaire pour l'amélioration de la qualité et la continuité de service.

Nous avons aussi traité successivement les différents défauts qui peuvent affecter un réseau MT et les méthodes de calcul des courants de court-circuit.

Les valeurs des courants de courts-circuits déterminées sur le jeu de barre 30kV et sur le départ de *Boukhalfa* en fonctionnement parallèle, nous ont permis de confirmer que la protection est assurée par les disjoncteurs installés au niveau du poste de transformation.

La technologie numérique qui est en pleine expansion permet actuellement de concevoir des systèmes de protection plus sûrs, plus performants et moins encombrants, mais toutefois assez coûteux.

Ce travail nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos connaissances acquises pendant notre formation universitaire et nous espérons que ce travail apportera un plus à ceux qui le consulteront.

## *Bibliographie*

- [1] : M.BDOUR et A.HELLAL « Réseaux électriques ». Fondamentaux et concepts de base  
Année : 2010.
- [2] : LUC Lasne « Electrotechnique ». Edition DUNOD 2008.
- [3] : CHRISTOPHE PREVE « Les réseaux électriques industriels 1 ». Edition Lavoier 2005.
- [4] : Guide de la protection « CG0021FR » Schneider électrique, Merlin Gerin. Edition 2006.
- [5] : Guide technique « Archives de SONELGAZ ».
- [6] : Fichier PDF « Distribution de l'énergie ».les postes HTA/BT.  
<http://www.iufmrese.cict.fr/liste/Doclidie/poste.pdf>
- [7] : O.AIT GUENISSAID et O.OUKHOUIA «Protection numérique par SEPAM série 80  
d'un départ électrique HTA », mémoire de Master, UMMTO, année 2012.
- [8] : ALAIN GROGUENOC « Protection des réseaux à moyenne tension »  
Technique de l'ingénieur D4810. Année 1991.
- [9] : Protection des réseaux électriques « guide des protection 2003 ».
- [10] : Guide de conception des réseaux électriques industriels, T& D 6883 427/A, Schneider  
électrique.
- [11] : Electrotechnique-fr.com « Appareillage de protection »
- [12] : Y.SOUTOU, M.CHABANE et F.GUEZOUÏ « Etude des protections d'un départ  
moyenne tension » mémoire de Master II, UMMTO, année 2013.
- [13] : T.WILDI et G.SYBILLE « Electrotechnique 4<sup>ème</sup> Edition »
- [14] : WIKIPEDIA « court-circuit, sectionneurs, surtensions, éclateurs, appareillages  
électriques »
- [15] :S.ABBASSEN et N.KACED « Etude des protections des départs MT application poste  
60/30KV FREHA », mémoire d'ingénieur UMMTO, année 2008.
- [16] : fichier PDF, service de génie électrique-Elec372 « les grandeurs réduites en pratique »  
<http://www.ulb.ac.be/polytech/genelec/pdf/CalculPU.pdf>

# *Résumé*

Le travail demandé par Sonelgaz est d'étudier et de vérifier la fiabilité des protections au niveau du poste source *DBK* et au départ *Boukhalfa*.

Le poste 60 kV/ 30 kV de Draa Ben khedda est alimenté par la ligne THT Si Mustapha vers Oued Aissi, par un injecteur à l'intermédiaire d'un transformateur 220kV/ 60 kV. (Piquage de la ligne THT au niveau de Sidi Naamane).

Son alimentation est faite par une seule ligne de 60kV, d'une distance de 5.5 km.

Pour se faire, on a subdivisé notre travail en quatre chapitres essentiels : le premier chapitre traite des généralités sur les réseaux électriques, le deuxième chapitre consiste à la représentation des moyens de protection d'un départ MT, le troisième chapitre est consacré au calcul des courants de défauts et dans le quatrième chapitre, on a traité un exemple de calcul de court-circuit afin de vérifier la fiabilité des protections au niveau du poste source *DBK* et au départ *Boukhalfa*.

Après avoir fait le calcul des courants de court-circuit concernant le poste source *DBK* et le départ *Boukhalfa*. Nous constatons que les valeurs les plus défavorables obtenues sont inférieures à celles données par la SONELGAZ, ce qui nous permet d'affirmer que la sécurité des personnes et du matériel est assurée par les disjoncteurs existants.

## *Mots clés*

Réseau moyen tension, protection des réseaux électriques, calcul courts-circuits, poste source, départ moyen tension.