

Introduction

Générale

Les réseaux de distribution électrique est une partie essentielle pour l'alimentation en énergie électrique pour les différents consommateurs MT et BT. Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie, et surtout continuité du service.

Les lignes et les câbles de distribution électrique moyenne tension, constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doivent assurer la continuité de l'alimentation en énergie électrique, aux consommateurs HTA et BT. Ce qui n'est pas toujours le cas, ces lignes sont souvent exposées à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importants pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs. Pour cela, on trouve des protections installées au niveau de la cellule de chaque départ (Ligne sortante du poste de transformation), ces protections assurent l'élimination de l'effet des défauts et protègent les clients en cas de la présence d'anomalies dans le fonctionnement du départ qui les alimente.

Notre problématique et la suivante : Comment calculer le courante de défauts dans le réseau HTA, pour présenter les meilleurs moyens de protection afin d'apprécier les valeurs de réglage de la protection ?

Pour répondre à cette problématique, nous avons organisé notre mémoire comme suit :

- * Le premier chapitre traite de l'architecture et le matériel de réseau électrique moyenne tension ;
- * Le deuxième chapitre étudie Les défauts affecté le réseau électrique moyenne tension et la méthode de calcul du courent de défaut ;
- * Le troisième chapitre étudie les équipements de protection de réseau électrique MT ;
- * Dans le dernier chapitre, on présente un exemple de réglage de relais de protection sur un départ MT.

Ce travail se termine par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :
Généralités sur le réseau
électrique MT

I.1) - Introduction

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis la centrale de génération jusqu'aux clients les plus éloignées.

I.2) - Différents types de réseaux électriques

Les réseaux électriques sont partagés en trois types :

I.2.1) - Réseaux de transport et d'interconnexion [1] [2] [3] [4]

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

- * De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport) ;
- * De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion) ;
- * La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV ;
- * Neutre directement mis à la terre ;
- * Réseau maillé.

I.2.2) - Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions ; ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation. [3]

En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension. [3]

- * La tension est 90 kV ou 63 kV ;
- * Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre :
Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 KV.
Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 KV.
- * Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

I.2.3) - Réseaux de distribution [4] [5] [6]

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique.

Le réseau de distribution moyenne tension caractérisé par :

- * HTA (30 et 10 kV le plus répandu) ;
- * Neutre à la terre par une résistance ;
- * Limitation à 300 A pour les réseaux aériens et 1000 A pour les réseaux souterrains.

I.2.4) - Gamme des tensions [7]

Tableau I.01 : Tableau des domaines de tension.

Domaine de tension		Valeur de la tension composée nominale (U_n en Volts)	
		Tension Alternatif	Tension Continu
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse Tension	BTA	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension	HTA (MT)	$1000 < U_n \leq 50\ 000$	$1500 < U_n \leq 75\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

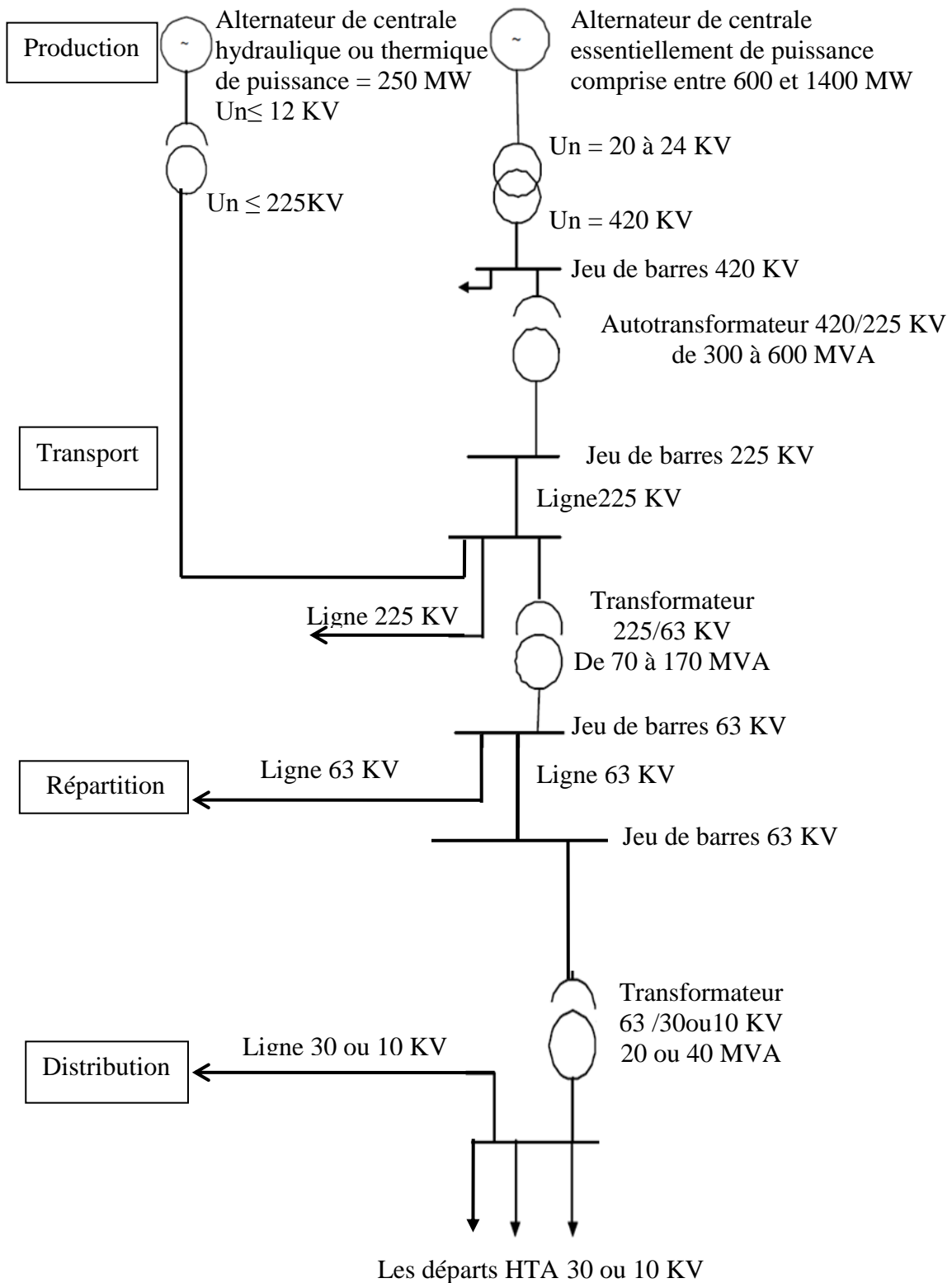


Figure I.01 : Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie.

I.3) - Matériels utilisés dans les réseaux électriques

La fiabilité des matériels utilisés pour la réalisation des réseaux électriques va définir le niveau de qualité accessible.

La capacité des matériels à résister aux sollicitations courantes est un premier élément important. Ces sollicitations peuvent être mécaniques (tenue au vent d'un réseau aérien) Ou électriques (tenue aux surtensions de foudre d'un réseau). Les matériels doivent conserver ces performances sur leur durée de vie et dans les différents contextes de fonctionnement (chaleur, froid, pollution, humidité...).

Ils doivent être conçus de telle façon que le système électrique dans son ensemble soit homogène, c'est-à-dire que le niveau des sollicitations de chaque matériel soit sensiblement équivalent. Cela se traduit notamment par une coordination des isolements.

Les matériels de puissance sont associés à des dispositifs de protection détectant les surintensités, les courants de défaut ou les surtensions. Ces dispositifs doivent être coordonnés de façon à toujours identifier le tronçon d'ouvrage défaillant le plus en aval possible et ainsi priver le nombre minimal d'utilisateurs d'alimentation : c'est le principe de la sélectivité des protections. [8]

I.3.1) - lignes et câbles

Les lignes assurent la continuité électrique entre deux nœuds du réseau et peuvent être classées selon les types suivants :

- * Lignes de grand transport : entre un centre de production et un centre de consommation ou un grand poste d'interconnexion ;
- * Lignes d'interconnexion : entre plusieurs régions ou plusieurs pays ;
- * Lignes de répartition : entre grands postes et petits postes ou gros clients nationaux de ;
- * Lignes de distribution : vers les consommateurs BT.

I.3.1.1) - Constitution

a) - Conducteur isolé

Il est formé par une âme conductrice entouré seulement d'une enveloppe isolante.

Ame :

Partie conductrice en courant d'un câble. Cette partie est souvent en Aluminium ou en cuivre.

b) - Câble

Il est formé d'un conducteur isolé ou un ensemble de conducteurs isolés, électriquement séparés mais comportant en plus une ou plusieurs gaines de protection.

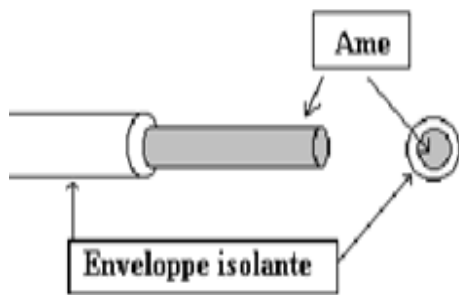


Figure I.02 : Conducteur.

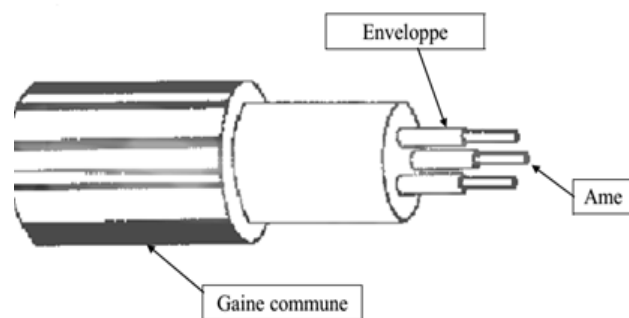


Figure I.03 : câbles multiconducteurs.

I.3.1.2) - Caractéristiques

a) - Partie conductrice : L'âme conductrice doit présenter une résistivité très faible pour éviter les pertes par effets joules. On emploie du cuivre Cu et de l'aluminium Al dont la valeur de la résistivité à 20°C est donnée :

- * pour le cuivre (Cu) $\rho = 17,242 \times 10^3 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$;
- * pour l'aluminium (Al) $\rho = 28,264 \times 10^3 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

La section : Sa surface est fonction de la valeur de l'intensité du courant qui circule dans l'âme.

b) - Partie isolante : Cette enveloppe isolante doit assurer une bonne isolation de l'âme conductrice et présenter les caractéristiques :

- * résistivité élevée et très bonne rigidité électrique ;
- * bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu ;
- * insensibilité aux vibrations et aux chocs ;
- * bon comportement à l'attaque des agents chimique.

I.3.1.3) - Câble de garde

Constitué d'un seul conducteur, surplombe parfois les lignes électriques. Il est attaché directement au pylône, et ne transporte aucune énergie : il est relié au réseau de terre et son but est d'attirer la foudre afin qu'elle ne frappe pas les 3 phases de la ligne, évitant ainsi les "Creux de tension" perturbant les clients.

I.3.2) - Pylônes

Le rôle des pylônes est de maintenir les câbles à une distance minimale de sécurité du sol et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes. Le choix des pylônes se fait en fonction des lignes à réaliser, de leur environnement et des contraintes mécaniques liées au terrain et aux conditions climatiques de la zone. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs.

I.3.3) - Isolateurs

L'isolation entre les conducteurs et les pylônes est assurée par des isolateurs (chaînes d'isolateurs). Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou en matériau synthétique. Les isolateurs verre ou céramique ont en général la forme d'une assiette.

On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'isolateurs dans la chaîne est important.

L'isolateur est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2 ;

- * M1 se fixe au pylône ;
- * M2 porte le conducteur.

Rôle : l'isolateur possède un double rôle :

- * Rôle mécanique : porte le conducteur ;
- * Rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône.

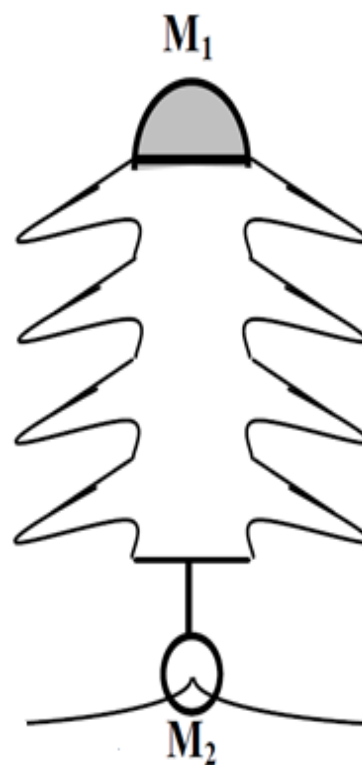


Figure I.04 : chaîne d'isolateur.

I.3.3.1) - Coordination d'isolement [09]

Les premiers réseaux électriques (Grenoble-Jarrie 1883) étaient technologiquement très rudimentaires et à la merci des conditions atmosphériques comme le vent ou la pluie :

- * Le vent, en faisant varier les distances entre les conducteurs, était à l'origine d'amorçages ;
- * la pluie favorisait les fuites de courant à la terre.

Ces problèmes ont conduit à :(Utiliser des isolateurs, Déterminer des distances d'isolement, Relier les masses métalliques des appareils à la terre). [10]

I.3.3.2) - Définition

La coordination de l'isolement a pour rôle de déterminer les caractéristiques d'isolement nécessaires et suffisantes des divers constituants des réseaux en vue d'obtenir une tenue homogène aux tensions normales, ainsi qu'aux surtensions de diverses origines (Figure I.05). Son but final est de permettre une distribution sûre et optimisée de l'énergie électrique. Par optimiser, il faut comprendre rechercher le meilleur rapport économique entre les différents paramètres dépendant de cette coordination :

- * Coût de l'isolement ;
- * Coût des protections ;
- * Coût des défaillances.

I.3.3.3) - Distance d'isolement [11]

Distance d'isolement Cette appellation regroupe deux notions, l'une de «distance dans les gaz (air, SF6, etc. ...))» et l'autre de «ligne de fuite» des isolants solides (Figure I.05) :

- * La distance dans les gaz est le plus court chemin entre deux parties conductrices ;
- * La ligne de fuite est également le plus court chemin entre deux conducteurs, mais suivant la surface externe d'un isolant solide (on parle de cheminement). [10]

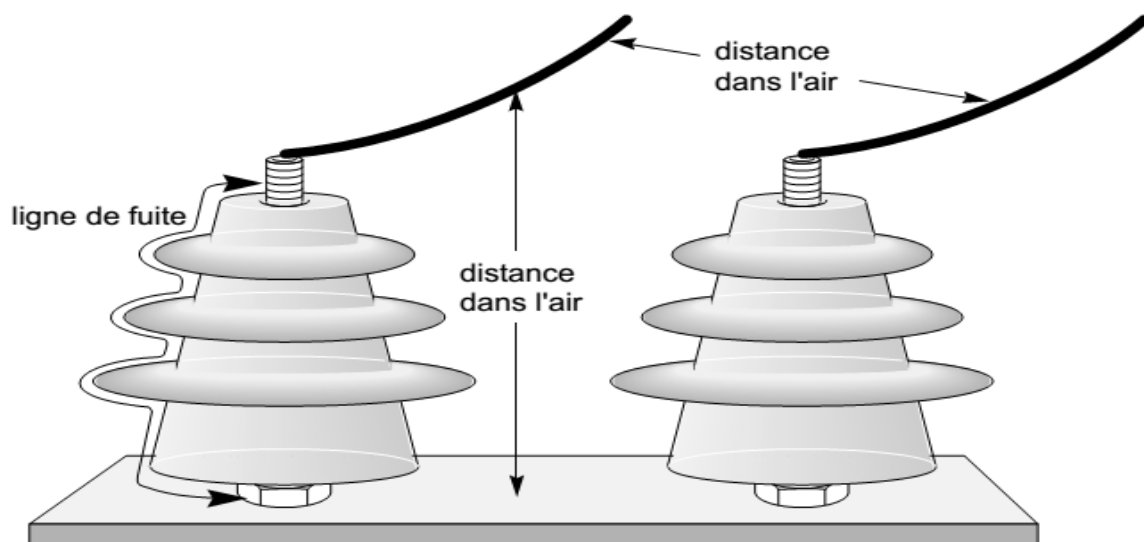


Figure I.05 : distance dans l'air et ligne de fuite.

I.3.4) - Éclateurs

Utilisés en MT et HT, ils sont placés sur les points des réseaux particulièrement exposés et à l'entrée des postes MT/BT. [11] Leur rôle est de constituer un point faible maîtrisé dans l'isolement du réseau, afin qu'un amorçage éventuel se produise systématiquement là.

Le premier et le plus ancien des appareils de protection est l'éclateur à pointes. Il était constitué de deux pointes en vis-à-vis, appelées électrodes, dont l'une était reliée au conducteur à protéger et l'autre à la terre.

La distance entre les deux électrodes permet d'ajuster le niveau de protection.

Ce dispositif est simple, assez efficace et économique, mais ses inconvénients sont nombreux :

- * a tension d'amorçage présente une dispersion importante. En effet, elle dépend fortement des conditions atmosphériques ; des variations de plus de 40 % ont pu être observées ;
- * Le niveau d'amorçage dépend aussi de l'amplitude de la surtension ;
- * Le retard à l'amorçage est d'autant plus long que la surtension est faible. Dans ces conditions, il est possible qu'une onde de choc provoque l'amorçage d'un appareil dont la tension de tenue est supérieure à celle de l'éclateur pour peu que cet appareil présente un retard à l'amorçage plus faible (câbles par ex.).

De plus, après amorçage, l'ionisation entre les électrodes maintient l'arc qui est alors alimenté par la tension du réseau et peut donner lieu (fonction de la mise à la terre du neutre)

à un courant de suite à fréquence industrielle. Ce courant est un défaut franc à la terre et nécessite l'intervention des protections placées en tête de ligne (disjoncteur à réenclenchement rapide).

Enfin l'amorçage provoque l'apparition d'une onde coupée à front raide susceptible d'endommager les enroulements (transformateurs et moteurs) situés à proximité. Encore en place sur les réseaux, les éclateurs sont aujourd'hui de plus en plus remplacés par les parafoudres. [10]

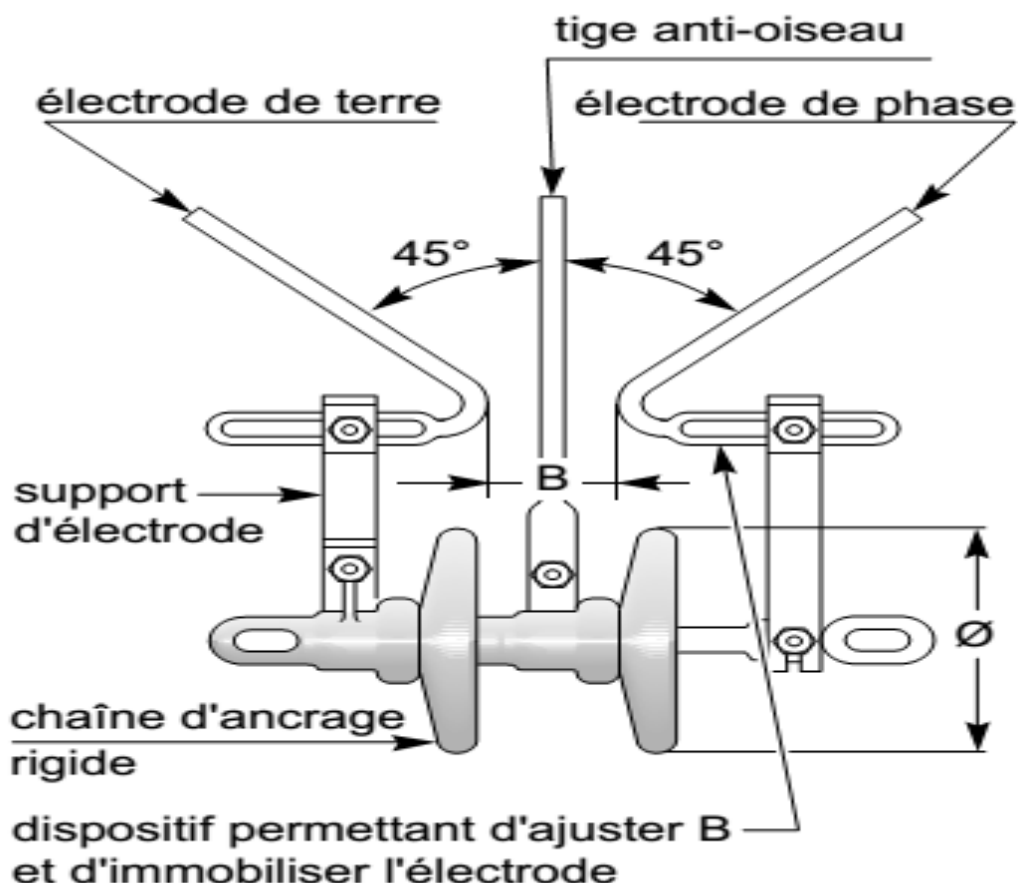


Figure I.06 : éclateur MT avec tige anti oiseaux.

I.3.5) - Parafoudres [12]

I.3.5.1) - Définition

Un parafoudre est un dispositif de protection capable d'empêcher l'établissement de tensions dangereuses d'origine atmosphériques entre les conducteurs et la terre, en permettant aux charges qui engendrent ces tensions de s'écouler par une liaison conductrice. Pour ce faire, il doit donc :

- * s'amorcer à la tension d'amorçage ;
- * écrêter la tension, jusqu'elle ne soit pas dangereuse pour le matériel ;

- * couper le courant d'écoulement à la terre dès que la tension est abaissée à une valeur de tension proche de la tension de service.

Un parafoudre fonctionne comme un interrupteur de mise à la terre extrêmement rapide. Cette liaison à la terre est de courte durée, tout juste le temps d'évacuer l'onde de courant.

D'une manière sommaire, un parafoudre est la combinaison d'un éclateur et d'une résistance variable en série. Lorsqu'une onde de surtension rencontre un parafoudre, celui-ci établit une liaison avec la terre avec un temps de retard de quelques microsecondes. Le courant de foudre est écoulé vers la terre par l'amorçage des éclateurs. Les résistances variables limiteront le courant de décharge et faciliteront l'extinction de l'arc. [10]

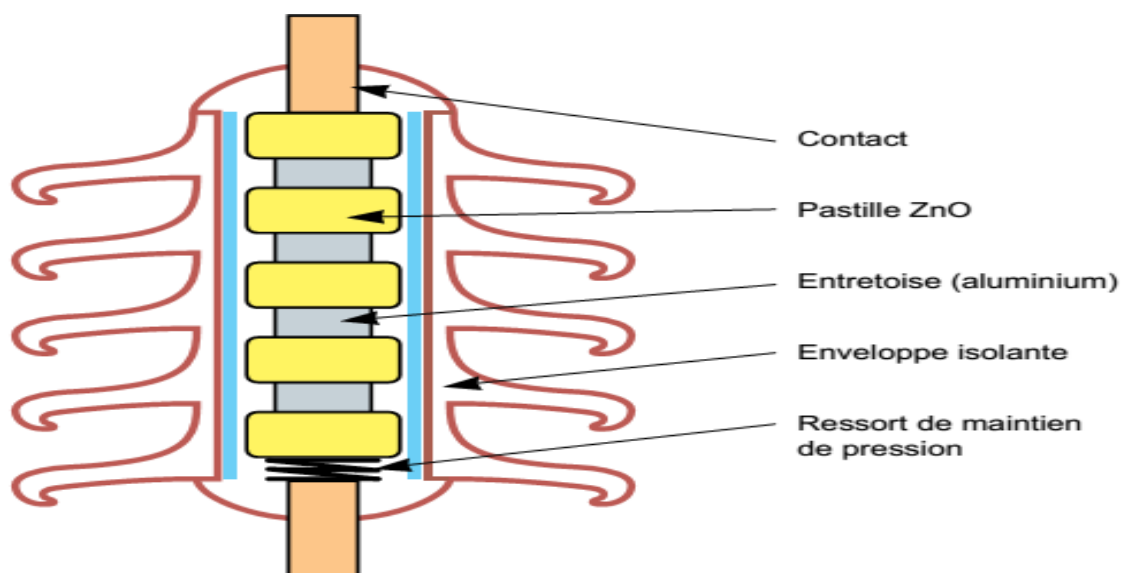


Figure I.07 : exemple de structure d'un parafoudre.

Dans des conditions normales de service, la résistance de plusieurs Mégohms et le courant qui reste faible (de l'ordre du mA) limite la puissance dissipée. [13]

Dans des conditions de surtension, la résistance chute de manière importante (jusqu'à environ 5 ou 10 ohms), limitant ainsi la tension aux bornes du parafoudre et donc de l'équipement pendant la durée d'écoulement du courant de foudre vers la terre. [14]

I.3.5.2) - Règles d'installations des parafoudres

- * réduire au maximum les tensions de connexion en réduisant le chemin que va suivre la foudre ;
- * connecter la charge directement aux bornes du parafoudre. Comme les parafoudres fixent la tension à leurs propres bornes, la tension aux bornes de la charge est donc la tension du parafoudre.

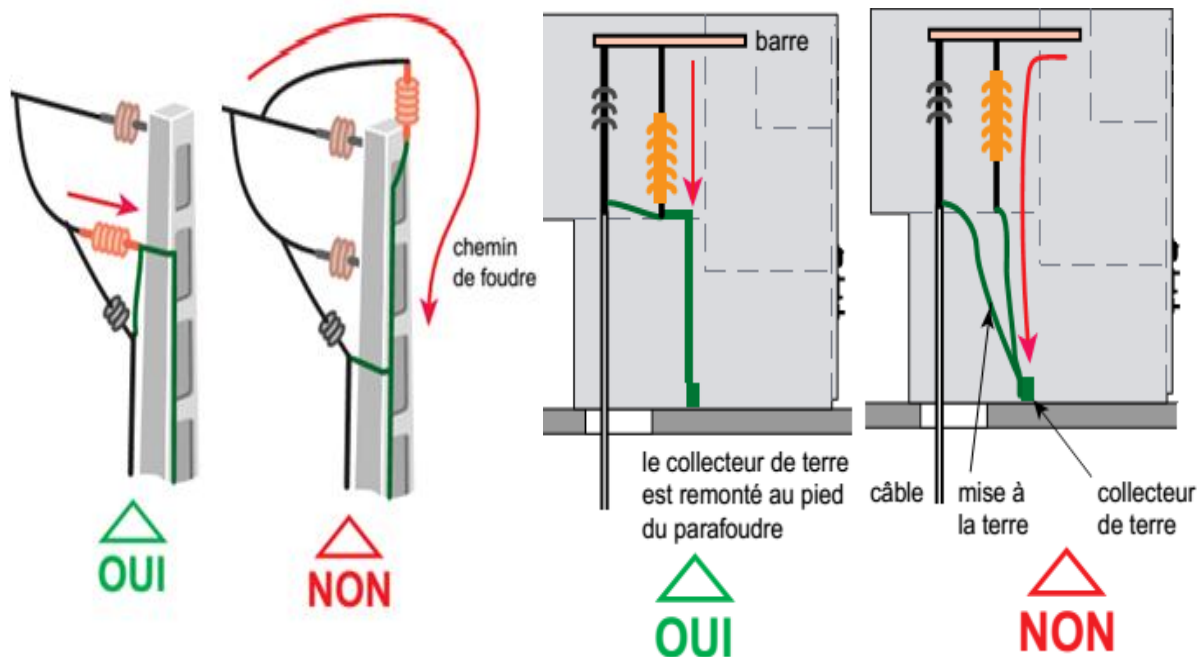


Figure I.08 : l'installation des parafoudres.

Le parafoudre doit être installé au voisinage immédiat des points critiques du réseau : (Jonction aérosouterraine, Bornes de transformateurs, Entrées des postes....). [14]

I.3.6) - Postes livraisons HTA / BT

Le poste MT/BT, interface entre le réseau de distribution MT et BT, est au cœur de la distribution électrique de puissance, au plus près des utilisations de l'énergie électrique en basse tension.

I.3.6.1) - Fonctionnalités des postes sur les réseaux MT [09]

On trouve sur les réseaux de distribution publique ou privée divers postes moyenne tension. Chacun joue un rôle différent en fonction du type de réseau et de son positionnement sur celui-ci.

Le poste MT/BT s'adapte à tous les modes d'exploitation et doit pour cela remplir les fonctions suivantes :

- * Distribuer une puissance et protéger les départs en BT ;
- * Isoler le poste du réseau en cas de défaut ;
- * Gérer le réseau MT en cas de défaut.

I.3.6.2) - Conception des postes

La conception d'un poste dépend :

- * Du mode de pose des canalisations aériennes ou souterraines ;
- * Du mode d'alimentation, celle-ci pouvant se faire en simple dérivation, en double dérivation ;
- * Du type de poste (ouvert ou préfabriqué).

Les postes MT/BT peuvent être installés sur poteaux (puissance ne dépassant pas 160 KVA) ou maçonnés.

Le raccordement au réseau se fait soit directement en antenne (simple dérivation), par l'intermédiaire de 2 interrupteurs dans un réseau en boucle (coupure d'artère), ou bien par 2 interrupteurs verrouillés mécaniquement dans un réseau en double dérivation. [15]

I.3.6.3) - poste de livraison à comptage BT

Un poste de livraison à comptage BT est une installation électrique raccordée à un réseau de distribution publique sous une tension nominale de 1 à 35 kV comprenant un seul transformateur MT/BT dont la puissance est en général inférieure ou égale à 1250 KVA.

I.3.6.4) - Choix du transformateur MT/BT

Un transformateur est défini, d'une part, par ses caractéristiques électriques et, d'autre part, par des caractéristiques liées à sa technologie et à ses conditions d'utilisation.

a) - Caractéristiques électriques [15]

- * Puissance assignée P_n : valeur de la puissance apparente en KVA ;
- * Fréquence : du réseaux 50 et 60 Hz ;

Remarque : En Algérie, la fréquence du réseau est de 50 Hz.

- * Tension(s) assignée(s) primaire(s) et secondaire(s) ;
- * Couplages des enroulements (Figure I.09) : ils sont indiqués par des symboles pour les couplages en étoile, triangle et zig-zag, et toute combinaison de ces couplages (en particulier pour les transformateurs spéciaux comme les

transformateurs hexaphasés) et par un code alpha numérique préconisé par la CEI. Ce code se lit de gauche à droite, la première lettre se référant à l'enroulement de tension la plus élevée, la seconde lettre à celui de tension immédiatement inférieure, etc ;

- * Les lettres majuscules se réfèrent à l'enroulement de tension la plus élevée ;

D = couplage triangle en MT.

Y = couplage étoile en MT.

Z = couplage zig-zag en MT.

N = neutre MT sorti accessible.

- * Les lettres minuscules se réfèrent en général aux enroulements secondaires.

d = couplage triangle en BT.

y = couplage étoile en BT.

z = couplage zig-zag en BT.

n = neutre BT sorti accessible.

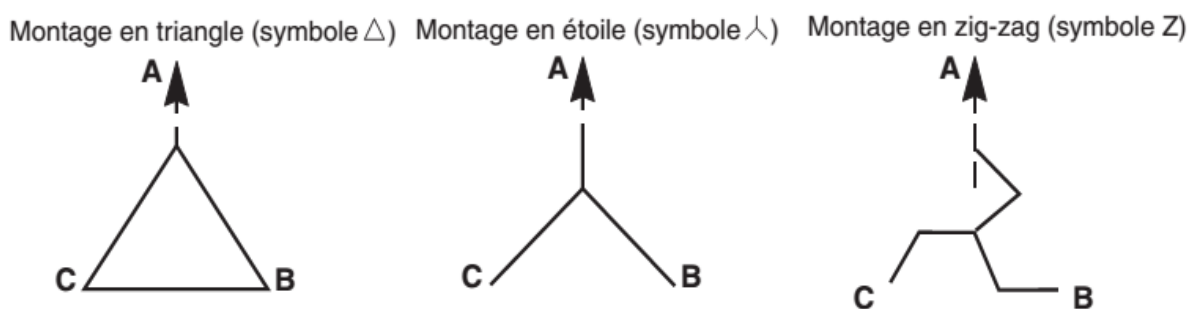


Figure I.09 : Couplages usuels d'un transformateur.

b) - Caractéristiques liées à la technologie et aux conditions d'utilisation

- * choix du diélectrique ;
- * installation intérieure ou extérieure.

I.3.6.5) - Différents types des postes MT/BT

a) - Postes MT/BT sur réseaux aériens (postes d'extérieur)

Généralement ils sont proposés sans appareillage de coupure MT, cette fonction étant réalisée en amont sur le réseau. Ils sont composés d'un transformateur sur poteau et d'un coffret BT. [09]

➤ Conception générale

Le poste sur poteau comporte :

- * Le raccordement à la ligne aérienne MT ;
- * Les éclateurs ou parafoudres ;
- * Le transformateur ;
- * La liaison BT entre le transformateur et le disjoncteur BT ;
- * Le disjoncteur BT ;
- * La ou les sorties BT.

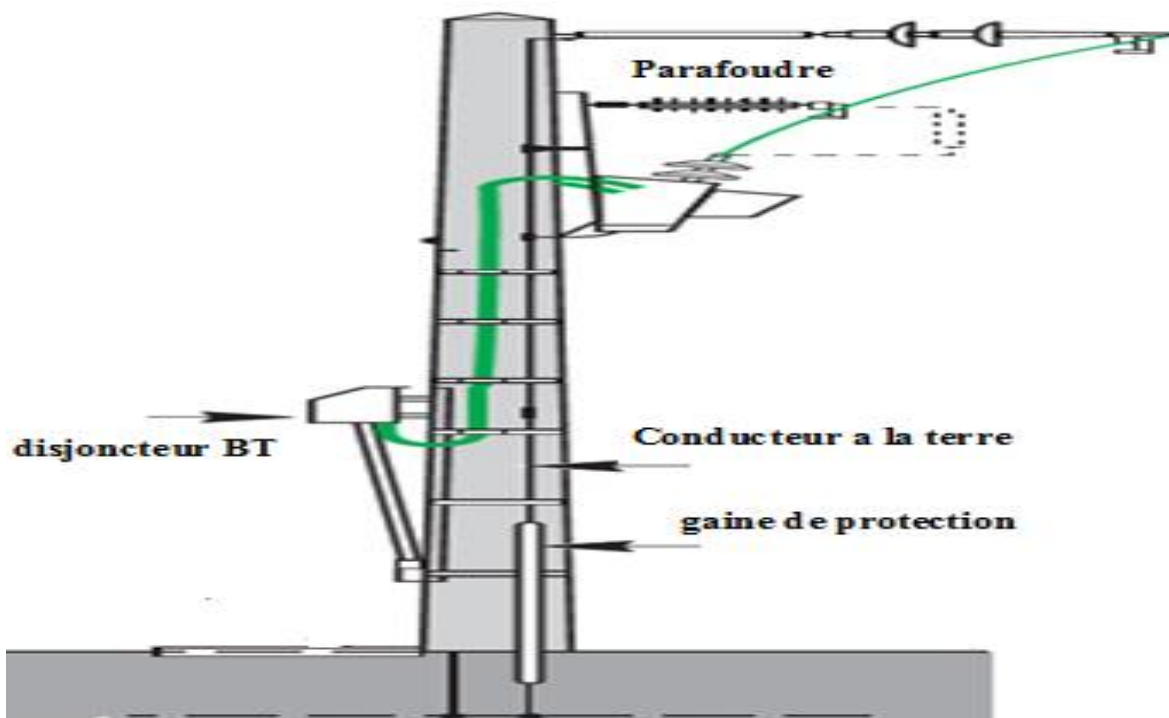


Figure I.10 : Poste sur poteau.

➤ Mise à la terre [16]

La mise à la terre du neutre des postes sur poteau sera réalisée sur le premier support de réseau BT, issu du poste, afin d'assurer la séparation des terres des masses et du neutre.

La prise de terre du neutre doit être séparée de celle des masses, c'est-à-dire installée à une distance supérieure à 10 m des réseaux de terre du poste.

Chaque poste doit être construit avec un système de mise à la terre indépendant.

b) - Postes d'intérieur avec cellules sous enveloppes métalliques

➤ **Equipement de ce type**

- * Transformateur de puissance HTA/BT ;
- * Les cellules d'arrivée /départ à interrupteur ;
- * Les cellules de protection générale par disjoncteur ;
- * Tableau générale basse tension (TGBT).

La figure I.11 présente un exemple typique d'installation d'un poste à comptage BT de type traditionnel. [15]

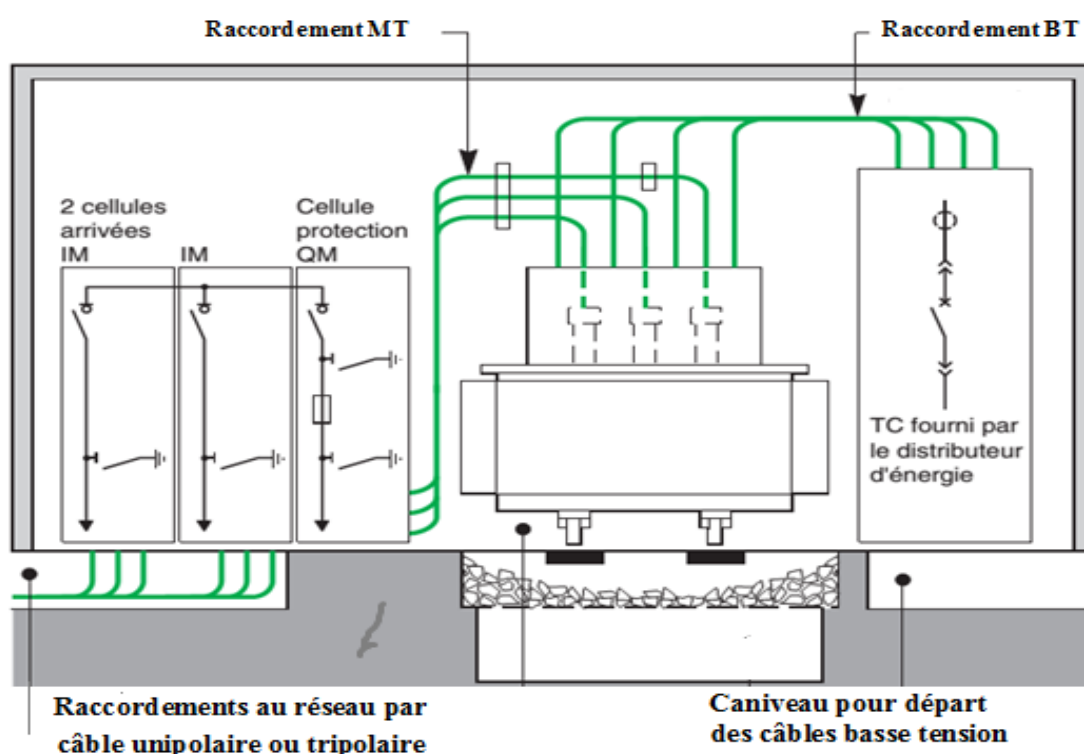


Figure I.11 : Exemple d'installation d'un poste à comptage BT.

➤ **Raccordements et liaisons MT**

- * Les raccordements au réseau MT se font sous la responsabilité du distributeur d'énergie.
- * Les liaisons entre les cellules MT et le transformateur se font :
 - par des extrémités de câbles courtes d'intérieur lorsque le transformateur se trouve dans une cellule faisant partie du tableau ;
 - par câble unipolaire blindé à isolation synthétique avec possibilité de prises embrochables sur le transformateur.

➤ **Choix de la cellule MT/BT**

Trois types des cellules MT sont généralement utilisés pour protéger le transformateur :

- * Interrupteur et fusibles associés, la fusion d'un fusible n'agissant pas sur l'interrupteur (ex : cellule PM) ;
- * combiné interrupteur-fusibles, la fusion d'un fusible déclenchant l'interrupteur (ex : cellule QM) ;
- * disjoncteur (ex : cellule DM).

Sept paramètres vont influencer sur le choix optimal :

- * la valeur du courant primaire ;
- * le type d'isolant du transformateur ;
- * l'installation du poste par rapport au local principal ;
- * la puissance en KVA du transformateur ;
- * la distance des cellules au transformateur ;

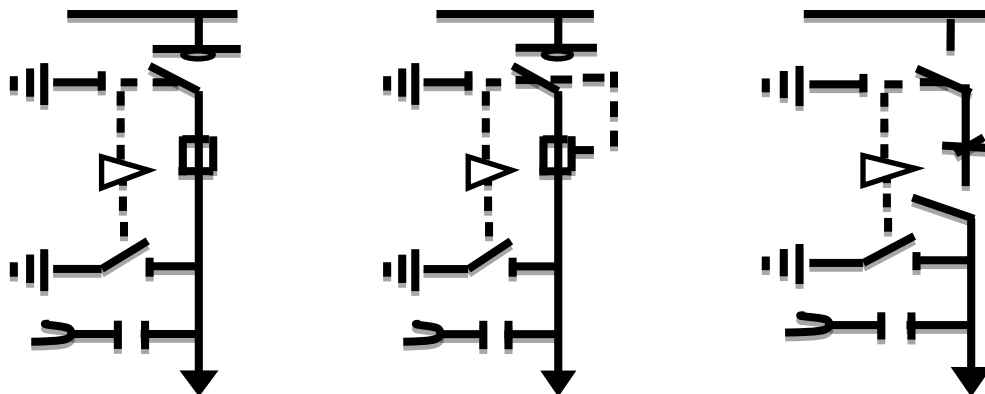


Figure I.12 : Cellule MT (PM, QM, DM).

➤ **Tableau basse tension**

Les tableaux BT des postes MT/BT de distribution publique sont destinés à répartir la charge du transformateur suivent un certain nombre de départ BT, ils permettent d'assurer la coupure générale BT, de couper et d'isoler individuellement chacun des départs du transformateur.

I.3.7) - Appareils de séparation, et de coupure

Tableau I.02 : Les appareils de séparation et de coupure.

APPAREIL	FONCTION	FONCTION	POUVOIR DE COUPURE
SECTIONNEUR	Séparer	Commande manuelle	Aucun
INTERRUPTEUR	Ouvrir et fermer un circuit en charge	Commande manuelle	Courant assigne
COUPE CIRCUIT FUSIBLE	protéger contre les courts-circuits et les surcharges	Fusion automatique Ne peut pas être réarmé	Haut Pouvoir de Coupure
<u>DISJONCTEUR</u>	protéger contre les courts-circuits et les surcharges	Coupure automatique Réarmement manuel	Haut Pouvoir de Coupure

I.4) - Modes d'alimentation des postes HTA [6]

- * Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau HTA, indépendamment de son emplacement dans le réseau ;
- * Le nombre de sources et la complexité du tableau diffèrent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré ;
- * Les schémas sont classés dans un ordre tel que la sûreté de fonctionnement s'améliore tandis que le coût d'installation augmente.

I.4.1) - Un jeu de barres avec une source

Architecture :

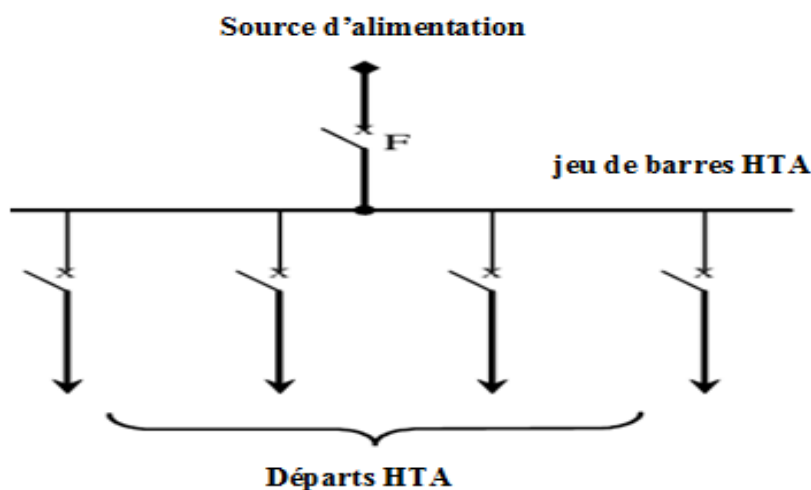


Figure I.13 : Architecture d'un jeu de barres avec une source.

Fonctionnement :

En cas de perte de la source d'alimentation, le jeu de barres est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

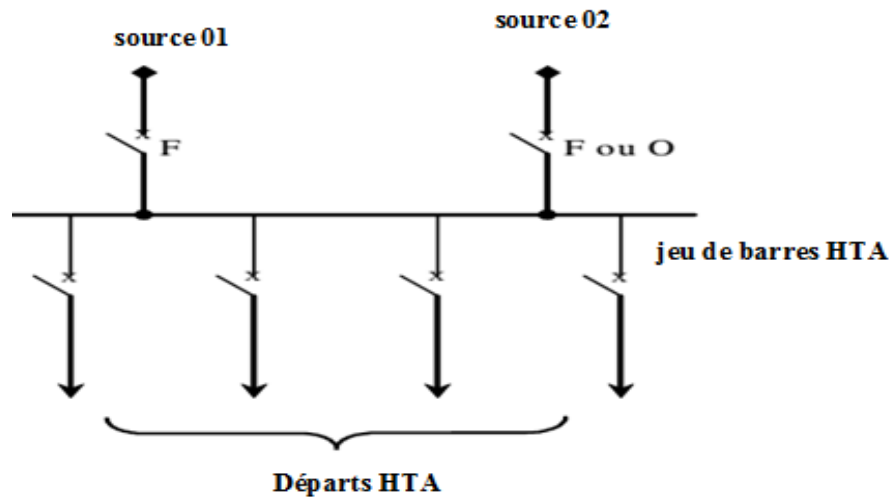
I.4.2) - Un jeu de barres sans couplage avec deux sources**Architecture :**

Figure I.14 : Architecture d'un jeu de barres sans couplage avec deux sources.

Fonctionnement :

Les deux sources peuvent fonctionner en parallèle ou l'une en secours de l'autre. En cas de défaut sur le jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), les départs ne sont plus alimentés.

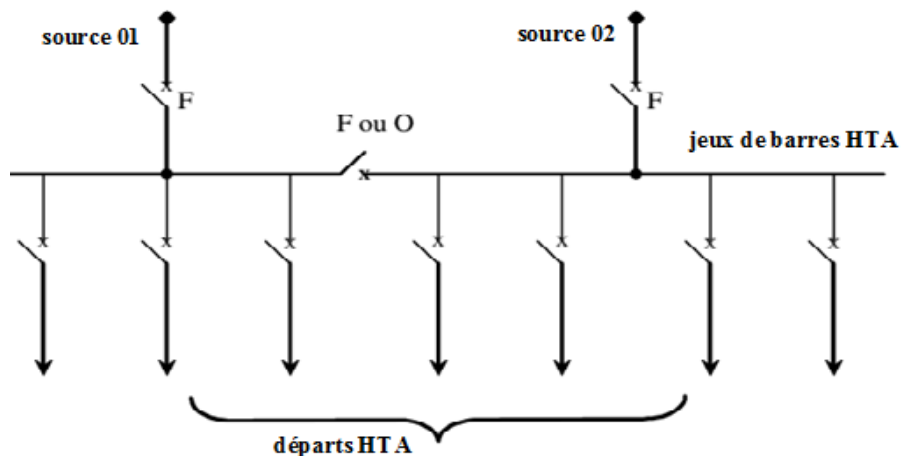
I.4.3) - deux jeux de barres avec couplage et deux sources**Architecture :**

Figure I.15 : Architecture de deux jeux de barres avec couplage et deux sources.

Fonctionnement :

- * Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert ;
- * S'il est ouvert, chaque source alimente un jeu de barres. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé et l'autre source alimente les deux jeux de barres ;
- * En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), une partie seulement des départs n'est plus alimentée.

I.5) - Structure de réseaux HTA [17]

Nous allons identifier les principales structures de réseaux HTA permettant d'alimenter les tableaux secondaires et les transformateurs HTA/BT. La complexité de la structure diffère suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.[5] Les schémas électriques des réseaux HTA les plus souvent rencontrés sont les suivant :

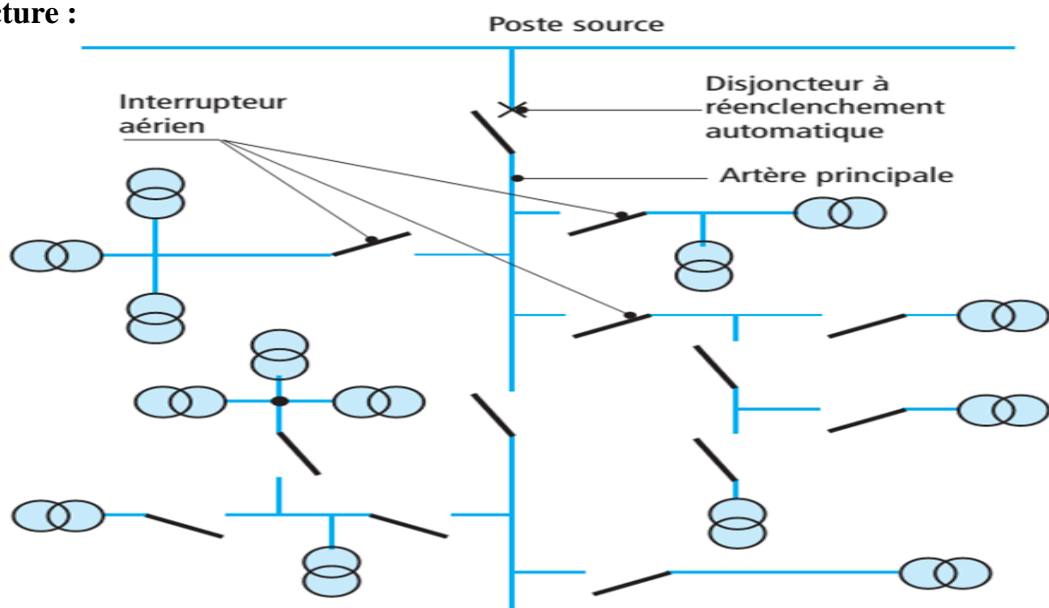
I.5.1) - Structure arborescente [18]**Architecture :**

Figure I.16 : réseau HTA arborescente.

Fonctionnement :

Chaque poste de transformation est alimenté en « simple dérivation » sur une artère principale ou secondaire.

Ce type d'alimentation est surtout utilisé en distribution rurale. [18]

I.5.2) - Structure en boucle

Il existe deux possibilités suivant que la boucle est ouverte ou fermée.

Ce type de réseau est surtout réalisé en souterrain et, en général, en milieu urbain. En cas de défaut sur une partie de la boucle, on peut toujours alimenter tous les postes en ouvrant la boucle à l'endroit du défaut.

I.5.2.1) - Boucle ouvert [1] [19]

Architecture :

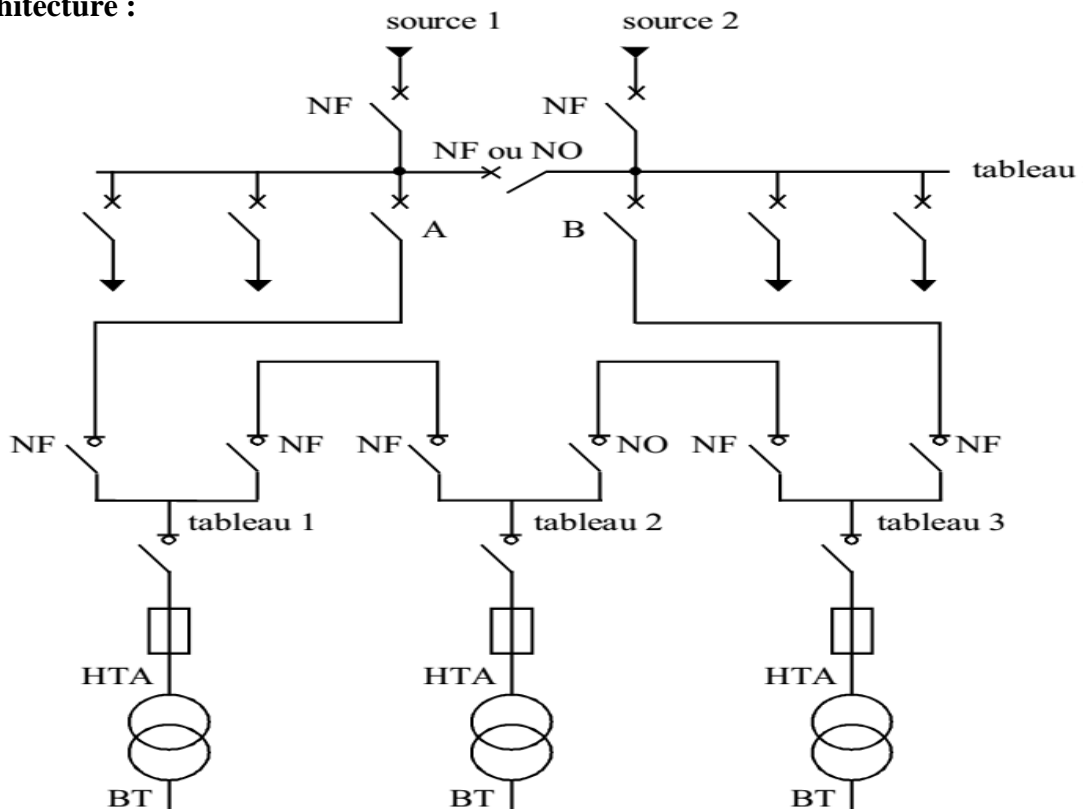


Figure I.17 : réseau HTA en boucle ouvert.

Fonctionnement :

- * Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteurs ;
- * Les appareils de coupure des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs sectionneurs ;
- * En fonctionnement normal, la boucle est ouverte (sur la figure I.17, elle est ouverte au niveau du tableau 2) ;
- * Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources ;

- * Un défaut sur un câble ou la perte d'une source est palie par une reconfiguration de la boucle.

Cette reconfiguration engendre une coupure d'alimentation de 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. [20]

I.5.2.2) - Boucle fermé [19]

Architecture :

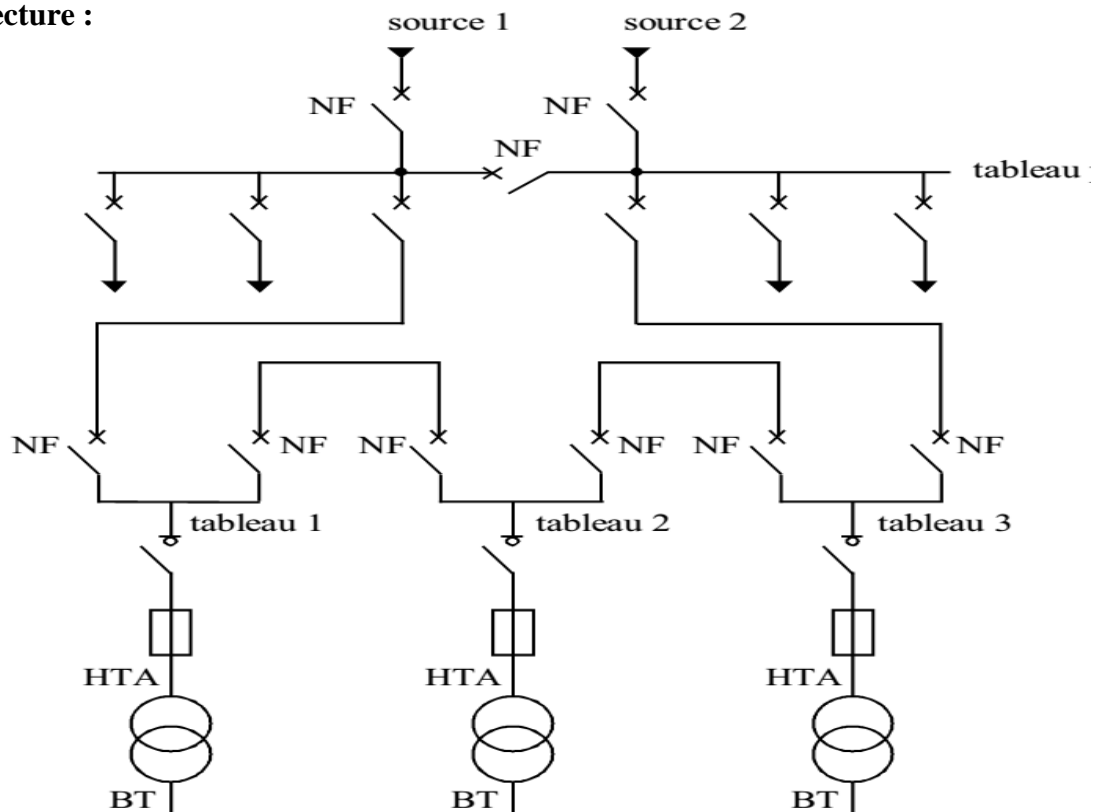


Figure I.18 : réseau HTA on boucle fermes.

Fonctionnement :

- * Tous les appareils de coupure 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 elle 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. [20]

I.5.3) - Structure double dérivation [19]

Architecture :

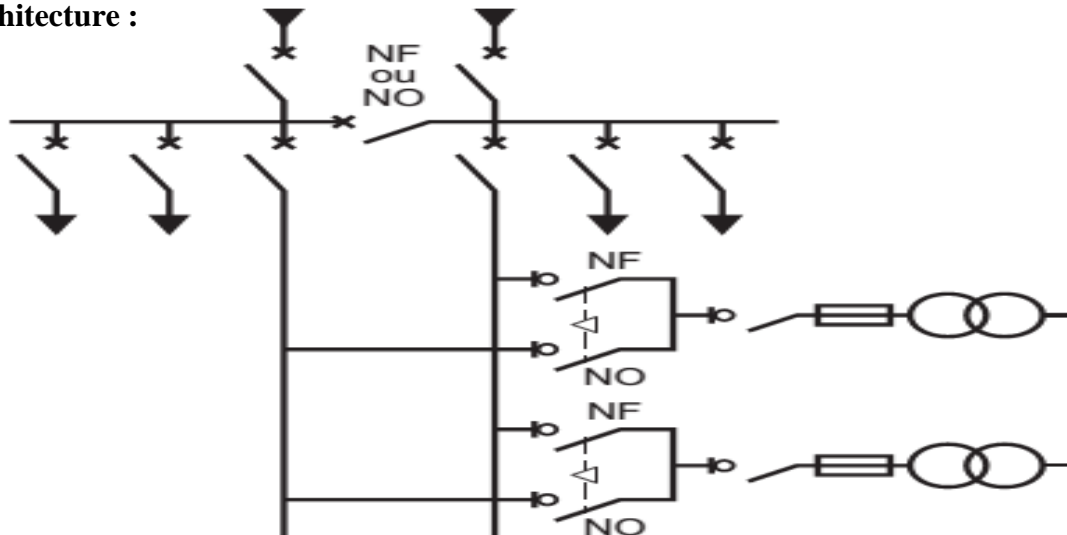


Figure I.19 : réseau HTA double dérivation.

Fonctionnement :

Chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées. Cette disposition est utilisée en région parisienne et dans quelques grandes villes.

I.6) - Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre des notions générales sur les réseaux électriques, et on a présenté les différents modes de raccordement des transformateurs d'alimentation, et les différentes structures des réseaux MT.

Tout fonctionnement d'un réseau électrique peut être sujet à l'apparition de défaut se manifestant souvent avec de lourdes conséquences qu'il est nécessaire de savoir gérer au mieux. Donc nous allons présenter dans le suivant chapitre l'étude des défauts affecté le réseau MT et la méthode de calcul du courant de court-circuit.

Chapitre II :
Les défauts
affecté le réseau MT
et la méthode
de calcul du Icc

II.1) - Introduction

Les réseaux électriques représentent des investissements considérables consentis par la sonelgaz pour alimenter ses clients à meilleurs conditions de cout et de qualités de service (continuité de fourniture, constance de la tension et de la fréquence).

Ce chapitre, va être consacré à l'étude des différents types de défauts, leurs causes et conséquences. Leurs effets sur les réseaux et leurs interactions sur les matériels. Par la suite, on va présenter les méthodes de calculer (courants et tensions) lors de court-circuit, on donne également les formules essentielles de calculs.

II.2) - Différents types des défauts

II.2.1) - Surtensions [18]

II.2.1.1) - Définition

Le réseau peut se trouver accidentellement porté à une tension supérieure de sa tension nominale : on parle alors de surtension. Les surtensions sont une des causes possibles de défaillances d'équipements électriques ou électroniques, bien que ceux-ci soient de mieux en mieux protégés contre ce type d'incident.

II.2.1.2) - Différents type de surtension dans les réseaux électriques :

- * Surtension permanente : d'une durée de plusieurs heures ;
- * Surtension temporaire : d'une durée d'une ou de plusieurs secondes. Un court-circuit d'une des phases d'un réseau triphasé à la terre (défaut d'isolement d'un câble HT par exemple) peut produire une surtension temporaire sur les autres phases.
- * Surtension de manœuvre : liée à la manœuvre d'un disjoncteur ou d'un sectionneur, d'une durée de quelques dizaines microsecondes à quelques millisecondes ;
- * Surtension de foudre : due au foudroiement d'une ligne à haute tension.

II.2.2) - Surcharge

II.2.2.1) - Introduction

Les surcharges de courant ne sont pas beaucoup plus élevées que le courant maximum permanent d'une installation, mais si elles se maintiennent trop longtemps elles peuvent faire des dégâts. Les dégâts, plus particulièrement aux matières isolantes en contact avec les conducteurs de courant, sont la conséquence de l'effet thermique du courant. La durée de cet effet thermique est relativement longue (de quelques secondes à quelques heures), et la surcharge peut donc être caractérisée par la valeur efficace du courant. La protection contre une surcharge est réalisée par un dispositif de protection capable de diminuer la durée de la surcharge.

II.2.2.2) - Causes habituelles des surcharges

Tableau II.1 : Causes des surcharges.

Manque de maintenance	Accumulation de poussières, salissures, particules étrangères
Vieillessement des équipements	Pièces usées, lubrification insuffisante
Problème thermique	Isolement dégradé, composants défectueux
Mauvaise utilisation	Capacité insuffisante, usage excessif
Qualité de l'énergie	Surtensions et sous tensions transitoires
Défauts de terre de faible amplitude	Particules métalliques, dégâts des eaux

II.2.3) - Court-circuit [21]

II.2.3.1) - Définition

Un court-circuit est une liaison accidentelle entre conducteurs, précisée par :

- * son type, qui définit les éléments incriminés : monophasé (entre une phase et la terre ou le neutre), triphasé (entre trois phases), biphasé isolé (entre deux phases), biphasé terre (entre deux phases et la terre) ;
- * son régime d'établissement : évolution de la forme de son courant dans le temps ;

- * son intensité : valeurs maximales et minimales ;
- * sa durée, variable, car le défaut peut être fugitif ou permanent ;
- * son origine, interne au niveau d'un équipement ou externe entre liaisons.

II.2.3.2) - Objectifs

L'étude du comportement d'un réseau en régime de court-circuit a pour but :

- * D'identifier les situations à risque, origines possible de :
 - ✓ danger pour les personnes ;
 - ✓ destructions de matériel par contraintes électrodynamiques, sur échauffements et surtensions ;
 - ✓ dysfonctionnements de l'exploitation pouvant aller jusqu'à la perte totale du réseau à cause des creux de tension et des coupures d'alimentation. [22]
- * Aider à faire des choix de base de conception pour limiter les effets néfastes des défauts, en ce qui concerne : [21]
 - ✓ les systèmes de liaisons à la terre des installations ;
 - ✓ le dimensionnement approprié des matériels ;
 - ✓ le réglage des protections, déterminé à partir du calcul des courants de défaut.

II.2.3.3) - Origines des défauts [18] [23]

Les lignes aériennes : sont soumises aux perturbations atmosphériques (foudre, tempêtes, etc.), les régions montagneuses par exemple sont beaucoup plus exposées que d'autre à la foudre. Les câbles souterrains : sont exposés aux agressions extérieures (d'engins mécaniques de terrassement par exemple) qui entraînent systématiquement des courts-circuits permanents.

Les matériels de réseaux et des postes électriques : comportent des isolants (solides, liquides ou gaz) constitués d'assemblages plus ou moins complexes placés entre parties sous tension et masse.

Les isolants subissent des dégradations conduisant à des défauts d'isolements.

II.2.3.4) - Types des défauts [19] [24]

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être :

- **Court-circuit Monophasé** : il correspond à un défaut entre une phase et la terre ou une masse il est le plus fréquent :

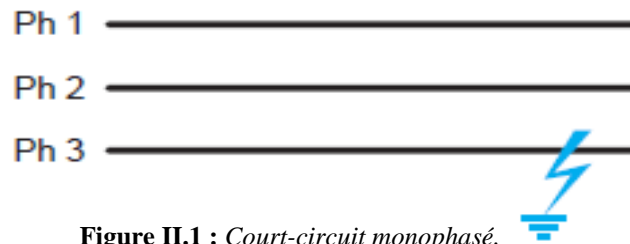


Figure II.1 : Court-circuit monophasé.

- **Court-circuit biphasé** : il correspond à un défaut entre deux phases sous tension composée. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé :

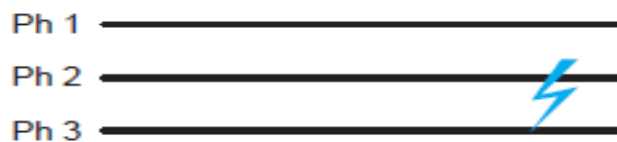


Figure II.02 : Court-circuit biphasé.

- **Court-circuit triphasés** : il correspond à la réunion des trois phases ; il est celui provoquant généralement les courants les plus élevés :

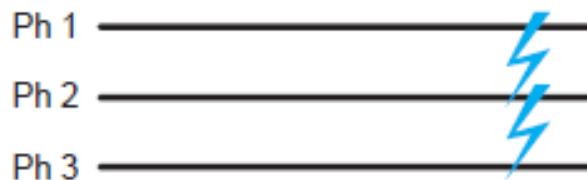


Figure II.03 : Court-circuit triphasé.

- **Statistique des répartitions des défauts** : Ces défauts ne se produisent pas à la même fréquence, car les statistiques donnent la répartition suivante :

- * Auto-extincteurs : 5% ;
- * Fugitifs : 70% à 80% ;
- * Semi permanents : 05% à 15% ;
- * Permanents : 05% à 15%.

Ces chiffres justifient l'utilisation d'appareils automatiques qui coupent les départs affectés le temps nécessaire à l'élimination des défauts non permanents.

II.2.3.5) - Nature des défauts [25] [26]

- **Court-circuit auto-extincteurs** : c'est ceux qui disparaissent spontanément en des temps très courts sans provoquer de discontinuités dans la fourniture d'énergie électrique.
- **Court- circuit fugitifs** : Les courts-circuits fugitifs nécessitent une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de seconde).
- **Court -circuit semi permanents** : Ces court-circuits exigent pour disparaître une ou plusieurs coupures relativement longues du réseau d'alimentation (quelques dizaines de secondes) sans nécessité d'intervention du personnel d'exploitation.
- **Court-circuit permanents** : Ces courts-circuits provoquent un déclenchement définitif qui nécessite l'intervention du personnel d'exploitation pour la localisation du défaut et remise en service de la partie saine.

II.2.3.6) - Conséquences sur le réseau électrique

Les courts-circuits dans les réseaux électriques ont des effets néfastes :

a) - Fonctionnement des réseaux électriques

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à redouter sur les réseaux électriques THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance.

Les courts-circuits, surtout polyphasés et proches des centrales de production, entraînent une diminution du couple résistant (C_r) des machines et donc une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur (C_m), s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme préjudiciables aux matériels.

Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont généralement considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électriques THT. [26]

b) - Tenue de matériels

Les courts-circuits provoquent des surintensités, dans le cas d'un court-circuit triphasé le courant de court-circuit peut dépasser 20 à 30 fois le courant nominal (I_n).

Ces surintensités amènent deux types de contraintes : [22] [27]

- **Contraintes thermiques** : dues aux dégagements de chaleur par effet Joule ($R.I^2$) dans les conducteurs électriques.
- **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 d'importants dégâts au matériel et être dangereux pour le personnel travaillant à proximité.

c) - Qualité de la fourniture

Pour les utilisateurs, les courts-circuits se traduisent par une chute de tension dont l'amplitude et la durée sont fonction de différents facteurs tels que la nature du court-circuit, la structure du réseau effectué, du mode mise à la terre, du mode d'exploitation, des performances des protections, ...etc.

d) - Circuits de télécommunications

La présence d'un court-circuit dissymétrique entre une ou deux phases d'une ligne d'énergie électrique et la terre entraîne la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par les points neutres des réseaux.

Une tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant, apparaît sur les lignes de télécommunication qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie électrique. Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunication. [22] [25]

e) - Sécurité des personnes

La mise sous tension accidentelle des masses, les élévations de potentiel liées à l'écoulement des courants de court-circuit à la terre, les conducteurs tombés au sol ...etc. sont autant de situations pouvant présenter des risques pour la sécurité des personnes. Le mode de mise à la terre des points neutres joue de ce fait un rôle essentiel. [27]

II.3) - Calcul de courant du défaut

II.3.1) - Calcul des I_{cc} par la méthode des impédances [25]

II.3.1.1) - Court-circuit triphasé

C'est le défaut qui correspond à la réunion des trois phases. L'intensité de court-circuit

I_{CC3} est :
$$I_{CC3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{CC}} \dots \dots \dots (II.01)$$

Avec U (tension entre phases) correspondant à la tension à vide du transformateur.

Le calcul de l'intensité de court-circuit se résume alors au calcul de l'impédance Z_{cc}, impédance équivalente à toutes les impédances parcourues par l'I_{cc} du générateur jusqu'au

point de défaut :
$$Z_{CC} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}$$

Avec : $\sum R$ = somme des résistances en série,
 $\sum X$ = somme des réactances en série.

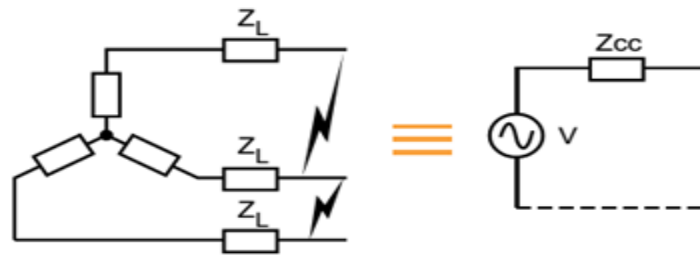


Figure II.04 : schéma équivalente d'un Court-circuit triphasé.

II.3.1.2) - Court-circuit biphasé isolé [24]

Il correspond à un défaut entre deux phases, alimenté sous une tension composée U.

L'intensité I_{cc2} débitée est alors inférieure à celle du défaut triphasé :

$$I_{CC2} = \frac{U}{2 \cdot Z_{CC}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{CC3} \approx 0,86 I_{CC3} \dots \dots \dots (II.02)$$

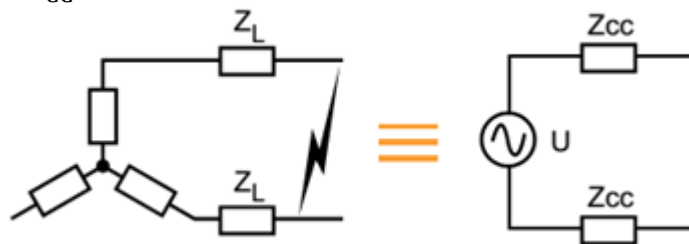


Figure II.05 : schéma équivalente d'un Court-circuit biphasé isolé.

II.3.1.3) - Court-circuit monophasé isolé [24]

Il correspond à un défaut entre une phase et le neutre, alimenté sous une tension simple, L'intensité I_{cc1} débitée est alors :

$$I_{CC1} = \frac{V}{Z_{CC} + Z_{Ln}} \dots \dots \dots (II.03)$$

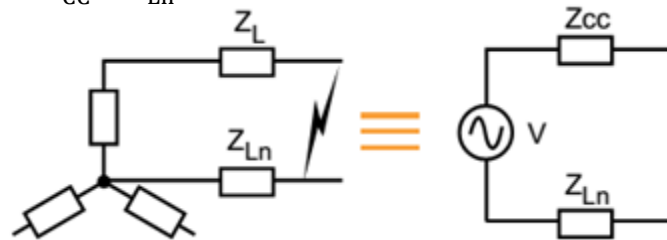


Figure II.06 : schéma équivalente d'un Court-circuit monophasé isolé.

II.3.1.4) - Détermination des diverses impédances de court-circuit [24]

Le principe de cette méthode consiste à déterminer les courants de court-circuit à partir de l'impédance que représente le «circuit» parcouru par le courant de court-circuit. Cette impédance se calcule après avoir totalisé séparément les différentes résistances et réactances de la boucle de défaut, depuis et y compris la source d'alimentation du circuit, jusqu'au point considéré.

a) - Impédances du réseau amont

Impédance du réseau amont Dans la plupart des calculs, on ne remonte pas au-delà du point de livraison de l'énergie. La connaissance du réseau amont se limite alors généralement aux indications fournies par le distributeur, à savoir uniquement la puissance de court-circuit S_{cc} (en MVA).

L'impédance équivalente du réseau amont est : $Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}} \dots \dots \dots (II.04)$

U : la tension composée du réseau non chargé.

La résistance et la réactance amont se déduisent à partir de R_a / Z_a en HT par : [24]

- * $R_a/Z_a \approx 0,3$ en 6 kV ;
- * $R_a/Z_a \approx 0,2$ en 20 kV ;
- * $R_a/Z_a \approx 0,1$ en 150 kV ;
- * $X_a = 0,980 Z_a$ en 20 kV ;
- * D'où l'approximation $X_a \approx Z_a$.

b) - Impédance interne du transformateur [24]

L'impédance se calcule à partir de la tension de court-circuit u_{cc} exprimée en % :

$$Z_T = U_{CC} \cdot \frac{U^2}{S_n} \dots \dots \dots (II. 05)$$

U = tension composée à vide du transformateur,

S_n = puissance apparente du transformateur.

c) - Impédance des liaisons

L'impédance des liaisons Z_L dépend de leur résistance et réactance linéiques, et de leur longueur.

La résistance linéique R_L des lignes aériennes, des câbles et des jeux de barres se calcule avec l'équation : $R = \frac{\rho}{S} L \dots \dots \dots (II. 06)$

Avec : S = section du conducteur ; ρ = sa résistivité,

La réactance linéique des lignes aériennes, des câbles et des jeux de barres se calcule

$$\text{par : } X_L = L \cdot W + 144,44 \cdot \log \frac{d}{r} \dots \dots \dots (II. 07)$$

Exprimée en m Ω /km pour un système de câbles monophasé ou triphasé en triangle, en (mm) avec :

r = rayon des âmes conductrices ;

d = distance moyenne entre les conducteurs.



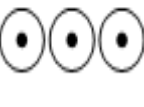


Les valeurs moyennes suivantes sont à retenir :

X = 0,3 Ω / km (lignes BT ou MT) ;

X = 0,4 Ω / km (lignes MT ou HT).

Pour les câbles, selon leur mode de pose : [24]

Tableau II.02 : La réactance linéique du câble.

mode de pose	jeux de barres	câble triphasé	câbles unipolaires espacés	câbles unipolaires en triangle	3 câbles en nappe serrée
Schéma					
réactance linéique (en mΩ/m)	0,15	0,08 (BT) 0,1 et 0,15 (HT)	0,15	0,09	0,09

II.3.2) - Calcul des Icc dans les réseaux à l'aide des composantes symétriques

II.3.2.1) - Présentation

En fonctionnement normal équilibré symétrique, l'étude des réseaux triphasés se ramène à celle d'un réseau monophasé équivalent, caractérisé par les tensions simples, les courants de phase, et les impédances du réseau.

Le fonctionnement dissymétrique d'un réseau peut apparaître lors du déséquilibre du système de tensions ou d'impédances des éléments électriques (suite à un défaut ou par construction).

Quand la dissymétrie est significative, la simplification n'est plus possible car on ne peut établir les relations dans les différents conducteurs à l'aide d'une impédance cyclique par élément de réseau.

La méthode générale faisant appel aux lois d'Ohm et de Kirchhoff est possible mais complexe et lourde.

La méthode dite des «composantes symétriques », encore appelée méthode de Fortescue, simplifie les calculs et permet une résolution beaucoup plus facile en se ramenant à la superposition de trois réseaux monophasés indépendants. [28]

On emploie la méthode des composantes symétriques, qui consiste à ramener le système réel à la superposition de trois réseaux monophasés indépendants : [19]

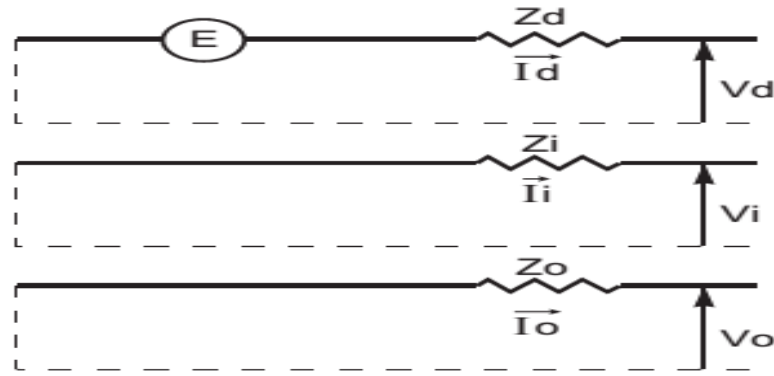


Figure II.09 : Schéma du réseau selon les composantes symétriques. [28]

II.3.2.4) - Détermination des différents courants des défauts

a) - Court-circuit triphasé entre conducteurs de phase [24] [28] [29]

La valeur du courant de court-circuit triphasé en un point F du réseau est :

$$IK_3 = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{CC}} \dots \dots \dots (II. 11)$$

Où U désigne la tension entre phases au point F avant l'apparition du défaut et Zcc l'impédance équivalente du réseau amont vue du point de défaut.

Zcc : impédance équivalente à toutes les impédances unitaires en série et en parallèle des composants du réseau situés en amont du défaut.

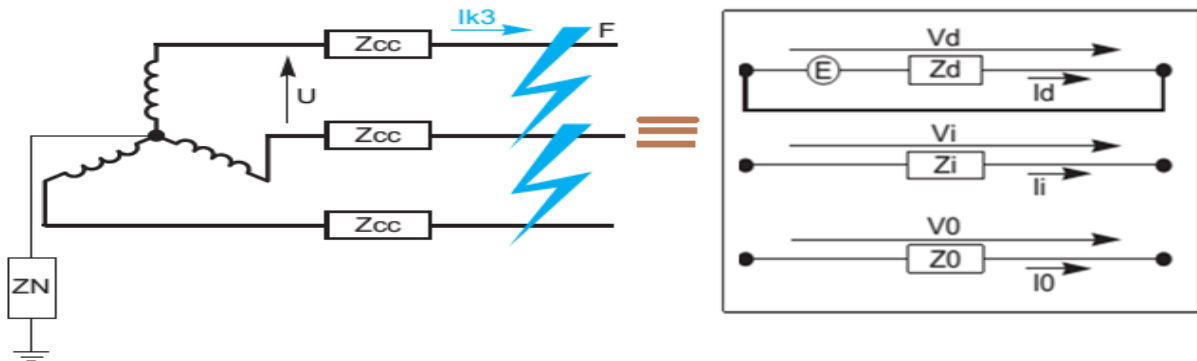


Figure II.10 : Modélisation du court-circuit triphasé selon les composantes symétriques [19].

L'équation des courants et tensions selon les composantes symétriques [19] :

$$I_d = \frac{E}{Z_d} \qquad V_d = V_i = V_0 = 0$$

$$I_i = I_0 = 0$$

b) - Court-circuit biphasé entre conducteurs de phase

La valeur du courant de court-circuit biphasé en un point du réseau est :

$$IK_2 = \frac{U}{Z_d + Z_i} \dots \dots \dots (II. 12)$$

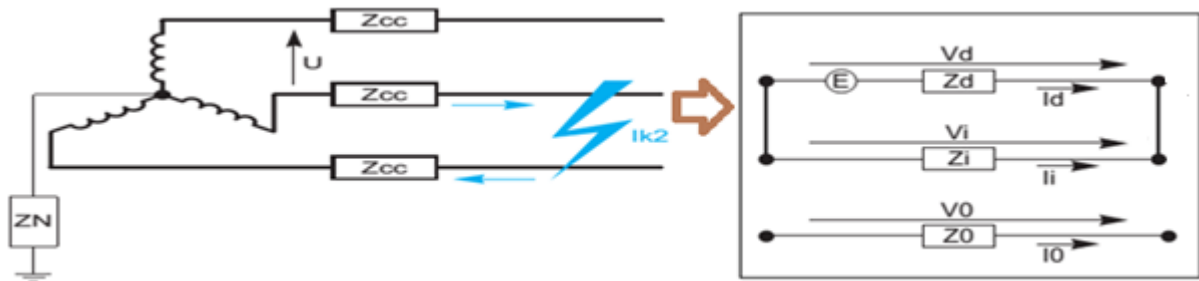


Figure II.11 : Modélisation du court-circuit biphasé isolé selon les composantes symétriques [19].

Le courant de court-circuit biphasé est alors plus faible que pour le triphasé, dans le rapport de 3/2, soit environ 87 %.

L'équation des courants et tensions selon les composantes symétriques [19] :

$$I_d = \frac{E}{Z_d + Z_i} \qquad V_d = V_i = \frac{E \cdot Z_i}{Z_d + Z_i}$$

$$I_i = \frac{-E}{Z_d + Z_i} \qquad V_0 = 0$$

$$I_0 = 0$$

c) - Court-circuit monophasé entre conducteur de phase et terre

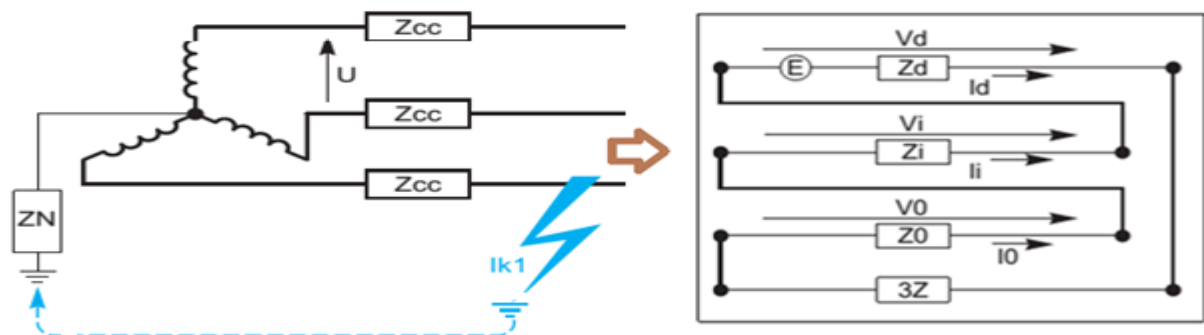


Figure II.12 : Modélisation du court-circuit phase terre selon les composantes symétriques [19].

La valeur de ce courant dépend de l'impédance Z_N située entre le neutre et la terre ; cette impédance peut être quasiment nulle si le neutre est directement mis à la terre (en série avec la résistance de mise à la terre) ou au contraire quasiment infinie si le neutre est isolé

(en parallèle avec la capacité phase-terre du réseau).La valeur du courant de défaut phase-

terre est :
$$IK_1 = \frac{\sqrt{3}.U}{(Z_d+Z_i+Z_0+3Z_N)} \dots \dots \dots (II. 13)$$

Ce calcul est nécessaire dans les réseaux où le neutre est relié à la terre par une impédance Z_N , pour déterminer le réglage des protections “de terre” qui doivent intervenir pour couper le courant de défaut à la terre Lorsque Z_d , Z_i et Z_0 sont négligeables par rapport à

Z_N , alors :
$$IK_1 = \frac{U}{\sqrt{3}.Z_N} \dots \dots \dots (II. 14)$$

L'équation des courants et tensions selon les composantes symétriques :

$$V_d = \frac{E(Z_i+Z_0+3Z)}{X} ; \quad V_i = \frac{-Z_i.E}{X} ; \quad V_0 = \frac{-Z_0.E}{X}$$

$$I_d = I_i = I_0 = \frac{E}{X}$$

Avec :
$$X = Z_d + Z_i + Z_0 + 3Z$$

II.3.2.5) - Présence des composants symétriques dans les différents types des défauts

Tableau II.03 : *Présence des composants symétriques dans les différents types du défaut [29].*

Type de défaut	Présence de composante directe	Présence de composante inverse	Présence de composante homopolaire
Monophasé	oui	oui	oui
Biphasé	oui	oui	non
Triphasé	oui	non	non

II.4) - Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons évoqué les différents types de défauts, leurs causes et leurs conséquences ; nous avons aussi présenté les formules concernant le calcul des courants de court-circuit des différents types de défauts. Afin d’assurer une protection efficace contre les différents types des défauts qui peuvent survenir sur le réseau électrique. Nous exposerons dans le prochain chapitre les équipements de protection des réseaux de distribution MT.

Chapitre III:
Équipements de protection
de réseau de
distribution MT

III.1) - Introduction

Dans ce chapitre, il nous a paru nécessaire de donner assez d'informations sur les différents éléments qui composent un système de protection moyenne tension. Ces éléments sont très importants, très sensibles et doivent être bien choisis et bien réglés afin d'assurer une protection efficace contre les différents types des défauts qui peuvent survenir sur le réseau électrique.

L'étude des protections d'un réseau se décompose en 2 étapes distinctes : [30]

- * la définition du système de protection, encore appelée plan de protection ;
- * la détermination des réglages de chaque unité de protection, encore appelée coordination des protections ou sélectivité.

III.2) - système de protection

III.2.1) - Définition

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations.

III.2.2) - Objectifs

Un système de protection doit :

- * Préserver la sécurité des personnes et des biens ;
- * Eviter la destruction partielle ou totale des matériels ;
- * Assurer la meilleure continuité de fourniture possible.

III.3) - Qualités principales d'un système de protection [23]

III.3.1) - Rapidité

Les court-circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires. Le temps d'élimination des court-circuits comprend deux composantes principales :

- * Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes) ;
- * Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes.

III.3.2) - Sélectivité

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure du réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées sous l'angle d'un système reposant sur le principe de sélectivité : il consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée par un défaut et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau.

Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants :

III.3.2.1) - Sélectivité ampérométrique par les courants

Pour assurer une sélectivité de type ampérométrique, la grandeur contrôlée est le courant. Sur un réseau, un courant de court-circuit est d'autant plus faible que le point de défaut est éloigné de la source. La sélectivité peut donc théoriquement être obtenue en ajustant le seuil des dispositifs de protection au courant de court-circuit prévisible selon leur emplacement dans la distribution (Figure III.01).

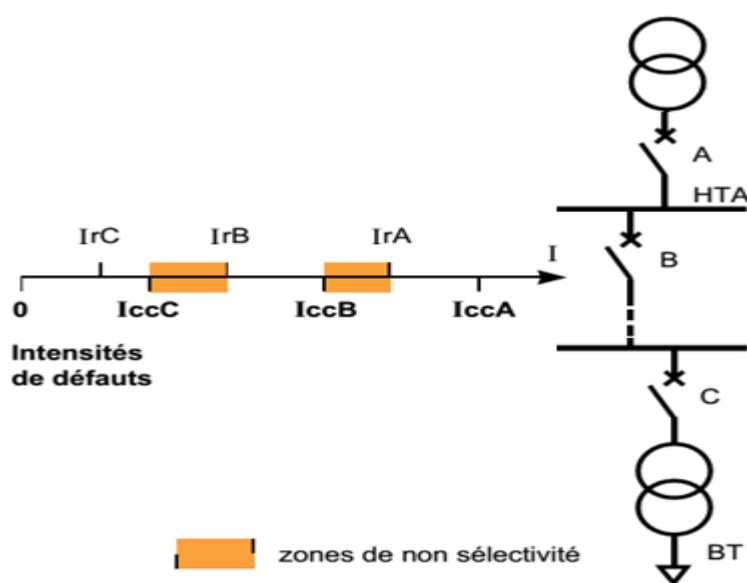


Figure III.01 : Fonctionnement d'une sélectivité ampérométrique.

En théorie pour réaliser une sélectivité ampérométrique il faut vérifier que

$$I_{ccA} > I_{rA} > I_{ccB} > I_{rB} > I_{ccC} > I_{rc}$$

Ce type de sélectivité, ne fait pas intervenir de délai de fonctionnement (instantané), car chaque protection est indépendante des autres. Il est fréquemment utilisé en BTA terminale. [22]

III.3.2.2) - Sélectivité chronométrique par le temps

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue. Ainsi, sur le schéma (Figure III.02) le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B.

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement ΔT entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.

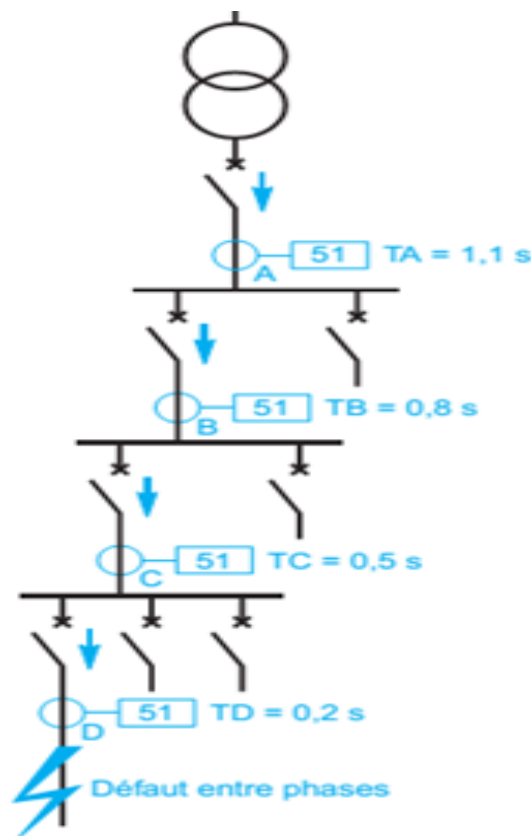


Figure III.02 : principe de la sélectivité chronométrique.

III.3.2.3) - Sélectivité logique [31]

Ce système a été développé pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique.

Ce principe est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir un temps court d'élimination du défaut (Figure III.03).

L'échange d'informations logiques entre protections successives permet la suppression des intervalles de sélectivité, et donc de réduire considérablement le retard de déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source.

En effet, dans un réseau en antenne, les protections situées en amont du point de défaut sont sollicitées, celles en aval ne le sont pas ; cela permet de localiser sans ambiguïté le point de défaut et le disjoncteur à commander.

Chaque protection sollicitée par un défaut envoie :

- * un ordre d'attente logique à l'étage amont (ordre d'augmentation de la temporisation propre du relais amont) ;
- * un ordre de déclenchement au disjoncteur associé sauf s'il a lui-même reçu un ordre d'attente logique de l'étage aval. Un déclenchement temporisé est prévu en secours. [30]

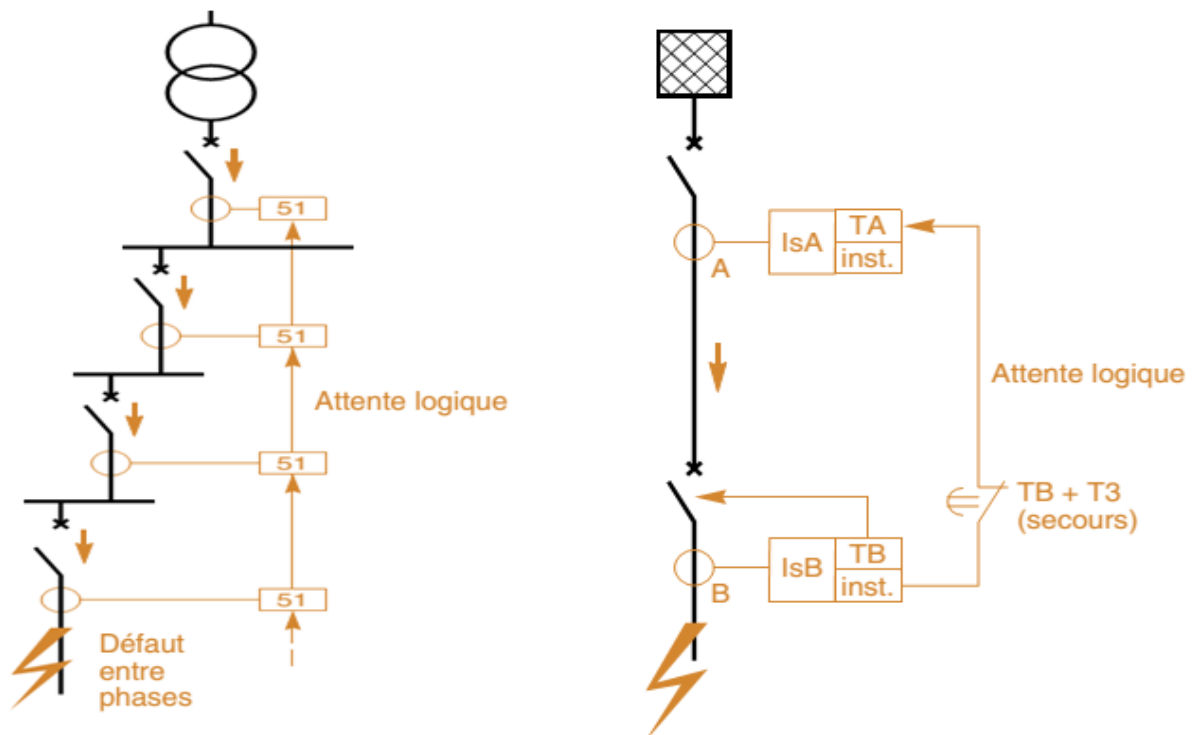


Figure III.03 : principe et fonctionnement de la sélectivité logique.

Ce principe est illustré sur la précédant [30]

- * à l'apparition d'un défaut à l'aval de B, la protection en B bloque la protection en A ;
- * seule la protection en B provoque le déclenchement après TB, si toutefois elle n'a pas reçu d'ordre d'attente ;
- * la durée de l'ordre d'attente pour la protection en A est limitée à $TB + T3$, avec $T3 \geq$ au temps d'ouverture et de coupure d'arc du disjoncteur B (typiquement 200 ms) ;
- * ainsi en cas de non déclenchement du disjoncteur B défaillant, la protection A donne l'ordre de déclenchement en $TB + T3$;
- * à l'apparition d'un défaut entre A et B, la protection A déclenché après TA.

III.3.3) - Sensibilité

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre :

- * Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu ;
- * Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

III.3.4) - Fiabilité

Les définitions et les termes proposés ici, sont dans la pratique, largement utilisés au plan international :

- * Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un court-circuit sur le réseau en tout point conforme à ce qui est attendu ;
- * A l'inverse, pour un fonctionnement incorrect, elle comporte deux aspects :
 - ✓ Le défaut de fonctionnement ou non-fonctionnement lorsqu'une protection, qui aurait dû fonctionner, n'a pas fonctionné.

- ✓ Le fonctionnement intempestif, qui est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour laquelle la protection n'aurait pas dû fonctionner.

III.4) - Chaîne générale d'un système de protection

C'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau : [30]

Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants :

- * **Capteurs de mesure** : courant et tension – fournissant les informations de mesure nécessaires à la détection des défauts ;
- * **Relais de la protection** : chargés de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau, jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses, et leur commande par le circuit de déclenchement ;
- * **Organes de coupure** : dans leur fonction d'élimination de défaut (disjoncteurs-fusible).

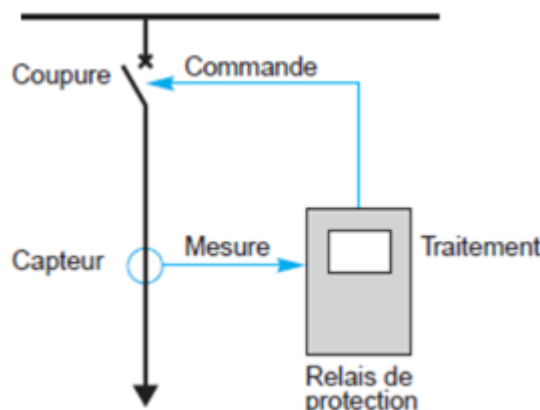


Figure III. 04 : Chaîne générale d'un système de protection.

III.4.1) - Capteurs de mesure et détection (Transformateur) [32]

III.4.1.1) - Définition

Les transformateurs de mesure sont des transformateurs permettant de convertir des courants ou tensions élevées en un courant ou une tension mesurable et normalisée, de façon proportionnelle et en phase avec le signal primaire.

Ceux-ci peuvent alimenter des instruments de mesure, des compteurs ou des relais de protection. De plus, les appareils de mesure ou de protection raccordés sont isolés par rapport aux parties de l'installation sous tension.

Les transformateurs de mesure comportent les types suivants :

III.4.1.2) - Transformateur du courant [33]

Branchés au primaire sur le réseau MT, ils délivrent au secondaire une valeur de courant réduite proportionnelle au courant du réseau sur lequel ils sont installés.

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 ;
- * Isoler les circuits de puissance du circuit de mesure et/ou de protection.

a) - Constitution et types

Un transformateur de courant est constitué d'un circuit primaire et d'un circuit secondaire couplés par un circuit magnétique et d'un enrobage isolant. [30] [34]

b) - L'appareil est de type

- * **Bobiné** : lorsque le primaire et le secondaire comportent un bobinage enroulé sur le circuit magnétique ;
- * **Traversant** : primaire constitué par un conducteur non isolé de l'installation ;
- * **Tore** : primaire constitué par un câble isolé.

c) - raccordement d'un TC [19]

Dans chaque phase de réseaux électrique en trouve un transformateur de courant.

Il ne faut jamais laisser le secondaire d'un transformateur de courant ouvert, On ne peut pas utiliser un transformateur de courant en courant continu.

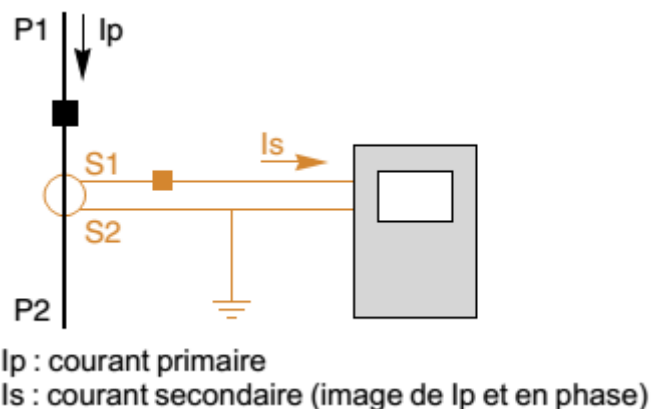


Figure III.05 : Raccordement d'un TC. [21]

d) - Caractéristique du TC [33]

Tableau III.01 : caractéristiques des transformateurs de courant.

Caractéristiques	Valeurs assignées
Tension assignées (KV)	7,2 - 12 - 17,5 - 24 - 36
Fréquence (Hz)	50 – 60
Courant primaire I_{Pn} (A)	25 - 50 - 75 - 100 - 200 - 400 - 600
Courant de courte durée admissible I_{th}	12,5 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50
Courant secondaire I_{Sn} (A)	1 – 5
Puissance de précision P_n (VA)	2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 15

III.4.1.3) - Transformateur de tension (TT ou TP)

Les transformateurs de tension ont deux fonctions essentielles :

- * adapter la valeur de la tension MT du primaire aux caractéristiques des appareils de mesure ou de protection en fournissant une tension secondaire proportionnelle réduite ;
- * isoler les circuits de puissance du circuit de mesure et/ou de protection.

a) - Constitution et type [30]

Ils sont constitués d'un enroulement primaire, d'un circuit magnétique, d'un ou plusieurs enroulements secondaires, le tout enrobé dans une résine isolante.

Ils sont de deux types, selon leur raccordement :

- * phase/phase : primaire raccordé entre deux phases ;
- * phase/terre : primaire raccordé entre une phase et la terre.

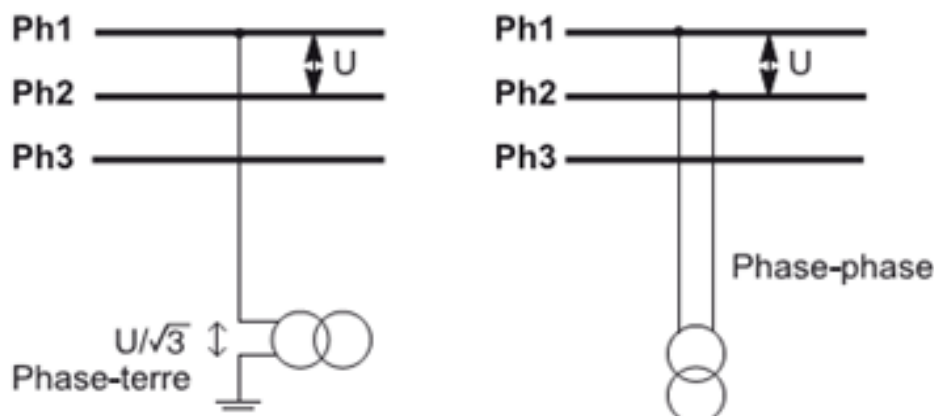


Figure III.06 : Raccordement d'un TT.

b) - Caractéristique du TT

Tableau III.02 : caractéristiques des transformateurs de tension. [33]

Caractéristiques	Valeurs assignées
Tension d'isolement (KV)	7,2 - 12 - 17,5 - 24 - 36
Fréquence (Hz)	50 - 60
Tension primaire U_{1n} (KV) (Divisée par $\sqrt{3}$ si monophasé)	3 - 3,3 - 5 - 5,5 - 6 - 6,6 - 10 - 20 - 22 - 30 - 33
Tension secondaire U_{2n} (V)	100 - 110 ou $\frac{100}{\sqrt{3}}$ - $\frac{110}{\sqrt{3}}$
Puissance de précision (VA)	30 - 50 - 100

III.4.2) - Relais de protection

III.4.2.1) - Définition

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température,...etc.) et les transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance. Donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc. un relais de protection détecte l'existence de condition anormales

par la surveillance continue, et détermine quels disjoncteurs à ouvrir et alimente les circuits de déclenchement .

Les relais de protection électrique sont classés en 3 types :

III.4.2.2) - Relais électromécaniques

Ce relais est basé sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par des variables électriques du réseau via des transformateurs de courant et de tension. Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur (points de réglage). [26] [27]

Les équipements électromécaniques sont des assemblages de fonctions : détection de seuils et temporisation. Ils avaient l'avantage d'être robustes, de fonctionner sans source d'énergie auxiliaire et d'être peu sensibles aux perturbations électromagnétiques. Ces relais se démarquent par leur solidité et leur grande fiabilité, pour cette raison, leur entretien est minime.

Ils sont réputés pour leur fiabilité dans les environnements de travail les plus délicats. Il est néanmoins souhaitable de les contrôler régulièrement, et la périodicité d'inspection dépend des conditions d'exploitation.

Les inconvénients de ces dispositifs, sont :

- * Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de maintenance ;
- * Le manque de précision, le dispositif étant sensible à son environnement et aux phénomènes d'usure ;
- * Il est difficile d'obtenir des réglages adaptés aux faibles courants de court-circuit ;
- * Son coût de fabrication est élevé ;

A cause de ces inconvénients, ce type de protection tend à disparaître à l'heure actuelle.

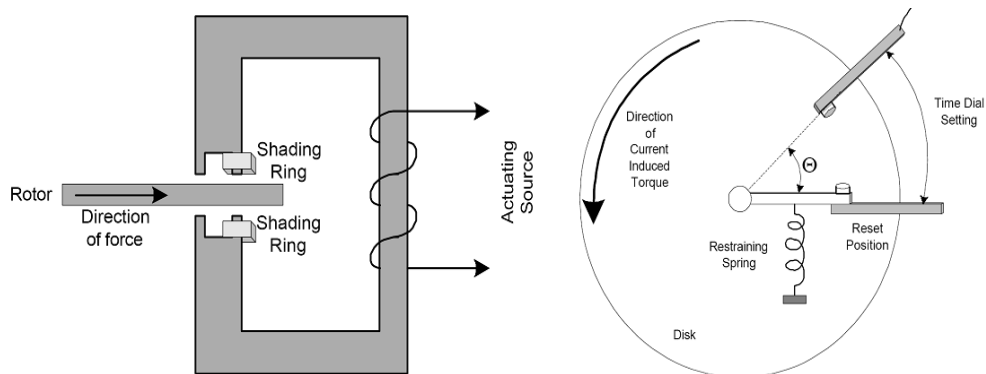


Figure III.07 : Relais électromagnétique à induction par disque simple.

III.4.2.3) - Relais statiques

Le développement de l'électronique a poussé les protections vers l'utilisation des composants électroniques discrets et les relais statiques. Ces protections, apparues sur le marché dans les années 1970, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de courant et de tension, en signaux électriques de faible voltage qui sont comparés à des valeurs de référence (points de réglage).

Les circuits de comparaison fournissent des signaux temporisations qui actionnent des relais de sortie à déclencheurs. Ces dispositifs nécessitent en général une source d'alimentation auxiliaire continue :

- * Ils procurent une bonne précision et permettent la détection des faibles courants de court-circuit ;
- * Chaque unité opère comme une fonction unitaire et plusieurs fonctions sont nécessaires pour réaliser une fonction de protection complète.

➤ Les inconvénients de ces dispositifs demeurent

- * Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de tests ;
- * La grande puissance consommée en veille ;
- * La faible sécurité de fonctionnement (pas de fonction d'autocontrôle).

III.4.2.4) - Relais numériques

La technologie numérique a fait son apparition au début des années 1980. Avec le développement des microprocesseurs et des mémoires, les puces numériques ont été intégrées aux équipements de protection.

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des 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.

Ces dispositifs nécessitant une source auxiliaire, offrent un excellent niveau de précision et un haut niveau de sensibilité. Ils procurent de nouvelles possibilités, comme :

- * Intégration de plusieurs fonctions pour réaliser une fonction de protection complète dans une même unité ;
- * Le traitement et le stockage de données ;
- * L'enregistrement des perturbations du réseau (perturbographe) ;
- * Le diagnostic des dispositifs connectés (disjoncteurs,etc.).

III.4.3) - Organes de coupure

III.4.3.1) - Disjoncteur moyenne tension

L'auxiliaire basse tension et l'unité de contrôle sont dans un compartiment séparé de la partie HTA.

Le disjoncteur, dont la fonction principale est la protection, assure également la fonction commande, et suivant son type d'installation le sectionnement (débouchable).

Les disjoncteurs HTA sont presque toujours montés dans une cellule HTA, et selon la définition de la Commission électrotechnique internationale (C.E.I), un disjoncteur à HTA 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 : [26]

- * 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. [35]

a) - Principe de fonctionnement

La coupure d'un courant électrique par un disjoncteur à MT est obtenue en séparant des courant dans un gaz (air, SF₆, etc.) ou dans un milieu isolant (par exemple à vide). Après la séparation des contacts, le courant continue de circuit à travers un arc électrique qui s'est établi entre les contacts du disjoncteur. Pour les disjoncteurs à MT, le principe de coupure retenu est la coupure du courant lorsqu'il passe par zéro (ceci se produit toutes les dix millisecondes dans le cas d'un courant alternatif à 50 Hz). En effet, c'est à cet instant que la puissance qui est fournie à l'arc électrique par le réseau est minimal (cette puissance fournie est même nulle à l'instant où la valeur instantanée du courant est nulle). [35]

b) - Caractéristiques électrique**Tension assignée**

La tension assignée est la valeur efficace maximale de la tension que le matériel peut supporter en service normal. Elle est toujours supérieure à la tension de service.

Niveau d'isolement assigné

Le niveau d'isolement fixe la tenue diélectrique des matériels de manœuvre et l'onde de choc de foudre. Il est caractérisé par deux valeurs :

- * La tenue à l'onde de choc (1,2/50 μ s) ;
- * La tenue à la fréquence industrielle pendant une minute.

Courant assigné en service continu

Un disjoncteur étant toujours fermé, le courant de charge doit circuler sans emballement thermique.

Courant de courte durée admissible

C'est la valeur efficace du courant de court-circuit admissible en kA sur un réseau pendant 1 ou 3 secondes, et calculée selon la formule suivant : $I_{CC} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} \cdot U_S}$

Avec :

U_S : Tension assignée d'alimentation de circuits auxiliaires.

c) - Pouvoir de coupure en court-circuit

Le pouvoir de coupure assigné en court-circuit est la valeur la plus élevée du courant que le disjoncteur peut couper sous sa tension assignée dans un circuit dont la tension transitoire de rétablissement (TTR) répond à une spécification précise.

d) - Différentes techniques de coupure d'arc électrique

Les disjoncteurs moyens tension peuvent être :

➤ Disjoncteur à air comprimé [35]

L'air comprimé est utilisé (Figure III.08) pour assurer les fonctions suivantes :

- * Refroidissement et allongement de l'arc, entraînement des particules ionisées ;

- * Après passage à zéro du courant, refroidissement de la colonne ionisée résiduelle et entraînement des particules ionisées restant dans l'espace entre contacts ;
- * Après l'extinction de l'arc, apparition d'une rigidité diélectrique élevée, d'autant plus élevée que la pression d'air est importante.

Les inconvénients de ce type sont :

- * nécessité d'une station d'air comprimé ;
- * bruit violent ;
- * appareil plus cher.

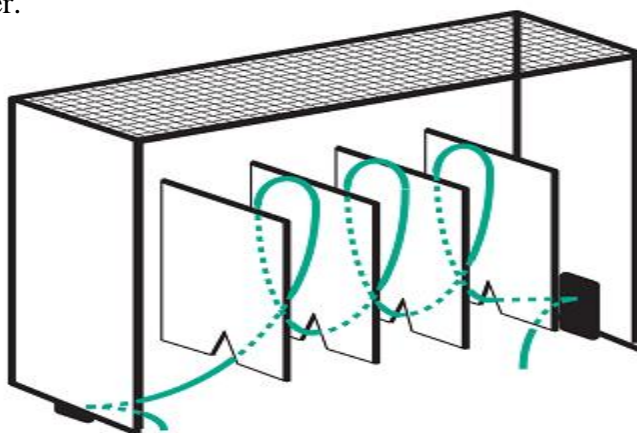


Figure III.08 : *Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'air.*

➤ **Disjoncteur à huile**

L'huile qui servait déjà comme isolant a été utilisée dès le début du siècle comme milieu de coupure car cette technique permet la conception d'appareils relativement simples et économiques.

Les disjoncteurs à huile ont été utilisés principalement pour les tensions de 5 à 15 kV.

Principe de fonctionnement :

Les contacts sont immergés dans une huile diélectrique.

Lors de la séparation, l'arc provoque la décomposition de l'huile qui libère de l'hydrogène (70 %), de l'éthylène (20 %), du méthane (10 %) et du carbone libre. Une énergie d'arc de 100 kJ produit environ 10 l de ces gaz. Ces gaz forment une bulle qui, par inertie de la masse d'huile, se trouve soumise pendant la coupure à une pression dynamique qui peut atteindre 50 à 100 bars. Quand le courant passe par zéro, le gaz se détend et souffle l'arc qui s'éteint.

C'est l'hydrogène obtenu par décomposition de l'huile qui sert de milieu d'extinction. C'est un bon agent extincteur grâce à ses propriétés thermiques et à sa constante de désionisation meilleure que celle de l'air, en particulier à pression élevée. [35]

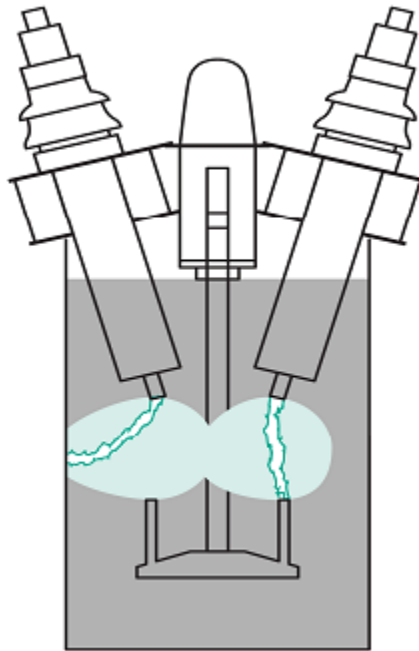


Figure III.09 : Chambre de coupure d'un disjoncteur à coupure dans l'huile.

➤ Coupure dans le vide

En principe le vide est un milieu diélectrique idéal : il n'y a pas de matière donc pas de conduction électrique. Cependant, le vide n'est jamais parfait et de toute façon a une limite de tenue diélectrique. Malgré tout, le « vide » réel a des performances spectaculaires : à la pression de 10^{-6} bar, la rigidité diélectrique en champ homogène peut atteindre une tension crête de 200 kV pour une distance inter électrodes de 12 mm (Figure III.09). [35]

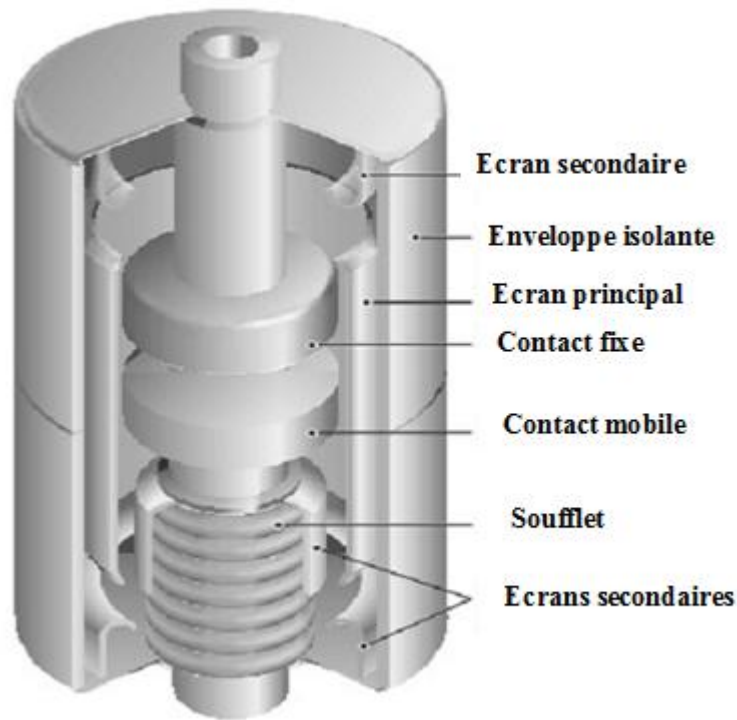


Figure III.10 : Constitution d'une ampoule de coupure dans le vide. [36]

Différentes technologies de coupure dans le vide

Tous les constructeurs ont été confrontés aux mêmes exigences :

- * Réduire le phénomène d'arrachement de courant pour limiter les surtensions ;
- * Éviter l'érosion précoce des contacts pour obtenir une endurance élevée ;
- * Retarder l'apparition du régime d'arc concentré pour augmenter le pouvoir de coupure ;
- * Limiter la production de vapeurs métalliques pour éviter les ré-claquages ;
- * Conserver le vide, indispensable pour garder les performances de coupure, pendant la durée de vie de l'appareil.

C'est en MT que cette technique est la plus employée: des disjoncteurs d'usage général sont maintenant disponibles pour les différentes applications avec tous les pouvoirs de coupure habituels (jusqu'à 63 kA). Ils sont utilisés pour la protection et la commande. [35]

- * des câbles et des lignes aériennes ;
- * des transformateurs et des condensateurs.

➤ **Disjoncteur à gaz SF6**

La mise au point de nouvelles générations de disjoncteur SF6 (hexafluorure de soufre) très performantes a entraîné dans les années 1970 la suprématie des appareils SF6 dans la gamme 7,2 kV à 245 kV. Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF6 peuvent expliquer leur succès : [37]

- * La simplicité de la chambre de coupure qui ne nécessite pas de chambre auxiliaire pour la coupure ;
- * La possibilité d'obtenir les performances les plus élevées, jusqu'à 63 kA ;
- * Le nombre de chambres de coupure est réduit (01 chambre en 245 kV, 02 chambres en 420 kV, 03 chambres pour la ligne de 550 kV et 04 en 800 kV) ;
- * Une durée d'élimination de court-circuit court, de 2 à 2,5 cycles en réseau THT,
- * La durée de vie d'au moins de 25 ans ;
- * Faible niveau de bruit ;
- * Zéro maintenance (régénération du gaz SF6 après coupure) ;

L'un des inconvénients de ce type d'appareil est son prix élevé

e) - Performances comparées des différentes techniques de coupure [33]

Tableau III.03 : la comparaison entre différentes techniques de coupure.

	huile	Air	SF6/vide
sécurité	Risque d'explosion et d'incendie si l'augmentation de pression	Manifestation extérieures importantes (émissions de gaz chauds et ionisés lors des coupures)	Pas de risque d'exploitation ni de manifestation extérieures
Encombrement	Volume de l'appareil relativement important	Installation nécessaire de grandes distances. Coupure non confinée	Faible
Entretien	Remplacement périodique de l'huile	Remplacement des contacts d'arc si possible. Entretien périodique de la commande	Nul sur les éléments de coupure.
Sensibilité à L'environnement	Le milieu de coupure peut être altéré par l'environnement (humidité poussières)		Non sensibles

III.4.3.2) - disjoncteur à réenclenchement automatique**a) - Généralité [18]**

La structure des réseaux aériens de distribution MT est en générale arborescent elle comprend une ligne principale sur laquelle sont raccordées des dérivation au départ de la ligne de principale se trouve le disjoncteur de protection et les dérivation sont équipées d'interrupteurs aériens permettant de les isoler.

Lors d'un défaut survenant sur l'une de dérivation, le disjoncteur de départ déclenche. Tous les usagers du réseau sont privés d'énergie électrique tant que la dérivation en défaut n'a pas été isolée. La recherche de dérivation en défaut s'effectue par une succession d'ouvertures d'interrupteurs aérien de la dérivation en défaut ayant été ouvert le disjoncteur reste réenclenché ceci demande des déplacements longs et coûteux et fatigue le disjoncteur qui réenclenche plusieurs fois sur défaut.

Pour limiter les conséquences des défauts, le disjoncteur de départ est équipé d'un cycle de réenclenchement automatique et les interrupteurs aériens des dérivation sont remplacés par des I.A.C.T (interrupteur aérien à crue de tension).

b) - Interrupteur aérien à crue de tension I.A.C.T [18]**➤ Constitution**

Il comprend :

- * Des détecteurs de courant de défaut ;
- * Un automate utilisant l'énergie du courant de défaut ;
- * Un percuteur actionnant le mécanisme de la commande ;
- * Un dispositif à compte passage à mémoire qui commande l'ouverture de l'interrupteur.

L'automate de l'interrupteur aérien doit remplir les fonctions suivantes :

- * Interdire l'ouverture de l'interrupteur tant que l'un des détecteurs de défauts est sollicité ;
- * Ne pas enregistrer les défauts dont la durée est inférieure à 0,25SEC ;
- * Deux défauts écartés de moins de 1,5 SEC doivent être comptés pour un seul ;
- * Provoquer l'ouverture automatique de l'interrupteur au plus de 10 SEC après l'ouverture du disjoncteur de départ dans le cas d'un défaut permanent.

➤ Diagramme et fonctionnement [38] :

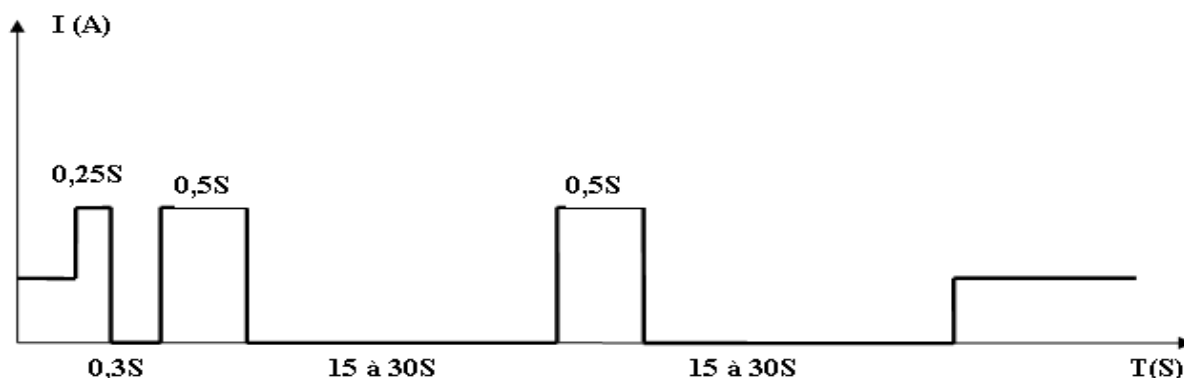


Figure III.11 : diagramme de l'ouverture d'I.A.C.T.

III.4.3.3) - Fusibles MT

a) - Généralités

Les fusibles moyenne tension (Figure III.12) offrent une protection des dispositifs de distribution moyenne tension (de 3 à 36 kV) contre des effets dynamiques et thermiques causés par les court circuits plus élevés que le courant minimal de coupure du fusible. Etant donné leur faible coût d'acquisition et ne nécessitant aucune maintenance, la fusible moyenne tension sont une excellente solution pour la protection de différents types de dispositifs de distribution :

- * Des réceptrices moyennes tensions (transformateurs, moteurs, ... etc.),
- * Des réseaux de distribution électrique publique et industrielle.

Ils offrent une protection sûre contre des défauts importants qui peuvent survenir d'une part sur les circuits moyenne tension, d'autre part sur les circuits basse tension. Cette protection peut être accrue en combinant les fusibles avec des systèmes de protection basse tension ou un relais de surintensité.

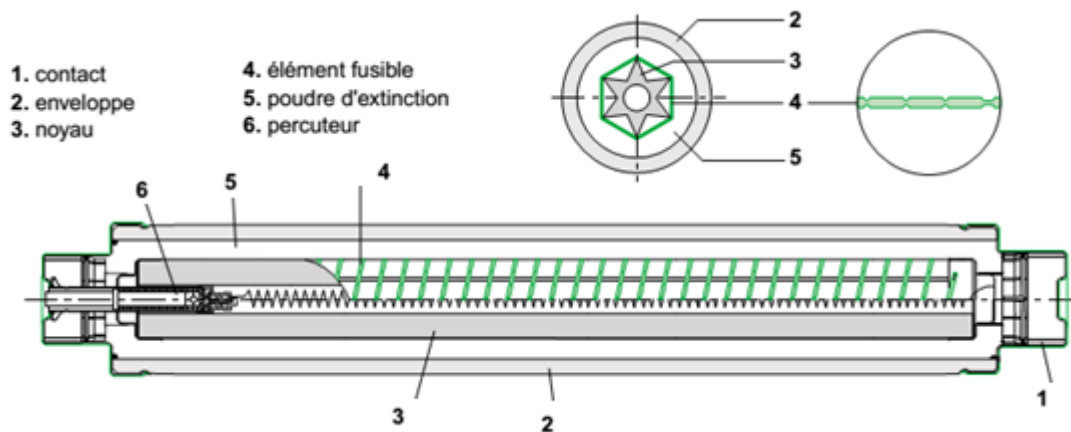


Figure III.12 : Coupe schématique d'un fusible HTA.

b) - Caractéristiques

➤ Tension assignée (U_n)

C'est la tension entre phases (exprimée en kV) la plus élevée du réseau sur laquelle pourra être installé le fusible. Dans la gamme moyenne tension, des tensions assignées préférentielles ont été fixées : 3,6 - 7,2 - 12 - 17,5 - 24 et 36 KV. [27]

➤ Courant assigné (I_n)

C'est la valeur du courant que le fusible peut supporter en permanence sans échauffement anormal.

➤ Courant minimal de coupure assigné (I_3)

C'est la valeur minimale du courant qui provoque la fusion et la coupure du fusible. Ces valeurs sont comprises entre 3 et 5 fois la valeur d' I_n .

Remarque : il ne suffit pas pour un fusible de fondre pour interrompre le passage du courant. Pour des valeurs de courant inférieures à I_3 , le fusible fond, mais peut ne pas couper le courant. L'arc reste maintenu jusqu'à ce qu'une intervention extérieure interrompe le courant. Il est donc impératif d'éviter la sollicitation d'un fusible dans la zone comprise entre I_n et I_3 .

➤ Courants critiques (I_2) : (courants donnant des conditions voisines de l'énergie d'arc maximale).

Cette intensité soumet le fusible à une plus grande sollicitation thermique et mécanique. La valeur de I_2 varie entre 20 et 100 fois la valeur de I_n , selon la conception de l'élément fusible. Si le fusible peut couper ce courant, il peut aussi garantir la coupure de courant pour toutes les valeurs comprises entre I_3 et I_1 .

➤ Courant maximal de coupure assigné (I_1)

C'est le courant présumé de défaut que le fusible peut interrompre. Cette valeur est très élevée (allant de 20 à 63 kA).

Remarque : il est nécessaire de s'assurer que le courant de court-circuit du réseau est au plus égal au courant I_1 du fusible utilisé.

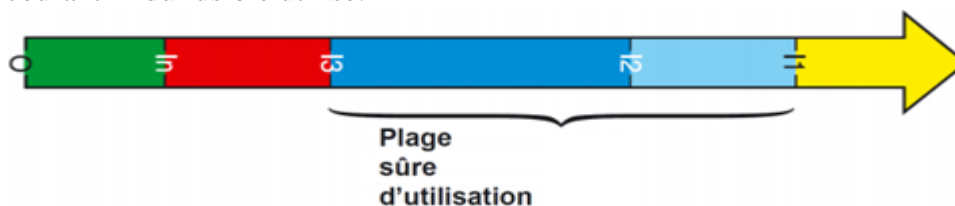


Figure III.13 : Les zones de fonctionnement des fusibles HTA.

III.5) - Régime du neutre

III.5.1) - Introduction

En électricité, un Régime de neutre définit la façon dont est raccordé la terre de la source de tension (ex : transformateur de distribution, un groupe électrogène, une éolienne, ...) et des masses côté utilisateur. Il existe plusieurs régimes de neutre plus connu. [39]

Le rôle d'une mise à la terre est d'assurer : [40]

- * la sécurité des personnes ;
- * la protection des installations de puissance ;
- * la protection des équipements sensibles ;
- * le maintien d'un potentiel de référence.

III.5.2) - Différentes configurations de mises à la terre [39]

Il existe différentes configurations possibles pour effectuer la mise à la terre d'une installation TT, TN (C, S et C-S) et IT. Ces lettres désignent le régime de neutre.

La première lettre identifie la situation du neutre du côté du fournisseur :

- * T : liaison directe du neutre à la Terre ;
- * I : absence de liaison du neutre à la terre, neutre isolé ou liaison par l'intermédiaire d'une impédance.

La deuxième lettre désigne, elle, la situation des masses du côté du client :

- * T : connexion directe des masses à la terre ;
- * N : connexion des masses au neutre.

Le schéma TN, selon la norme CEI 364 et la norme NF C 15-100, comporte plusieurs sous-schémas : [41]

- * TN-C : si les conducteurs du neutre N et du PE sont confondus (PEN) ;
- * TN-S : si les conducteurs du neutre N et du PE sont distincts ;
- * TN-C-S : utilisation d'un TN-S en aval d'un TN-C, (l'inverse est interdit).

III.5.2.1) - Régime TT

Le neutre du secondaire du transformateur HT/BT est relié à la terre (T). Les masses de l'installation sont reliées à la terre (T). [42]



Figure III.14 : schéma TT.

III.5.2.2) - Régime IT

Le neutre du secondaire du transformateur est isolé ou relié à la terre par une grande impédance Les masses de l'installation sont reliées et mises à la terre (T). [42]



Figure III.15 : schéma IT.

III.5.2.3) - Régime TN [42]

Le neutre du secondaire du transformateur HT/BT est relié à la terre (T). Les masses de l'installation sont reliées au neutre par le conducteur de protection il se divise :

a) - Schéma TN-S

Conducteur de neutre et conducteur de protection Séparé.

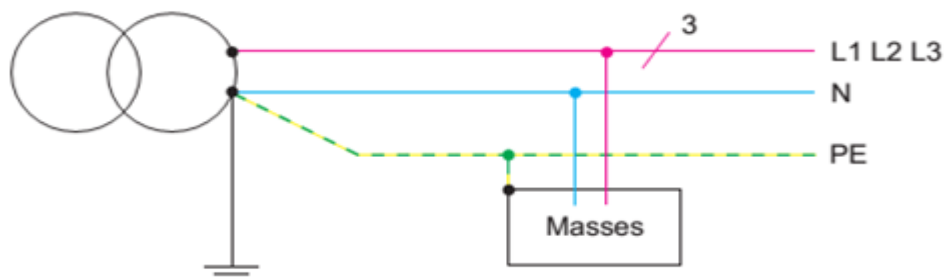


Figure III.16 : schéma TN-S.

b) - Schéma TN-C

Conducteur de neutre et de protection Commun : ce conducteur est appelé conducteur « PEN » (PE + Neutre réunis).

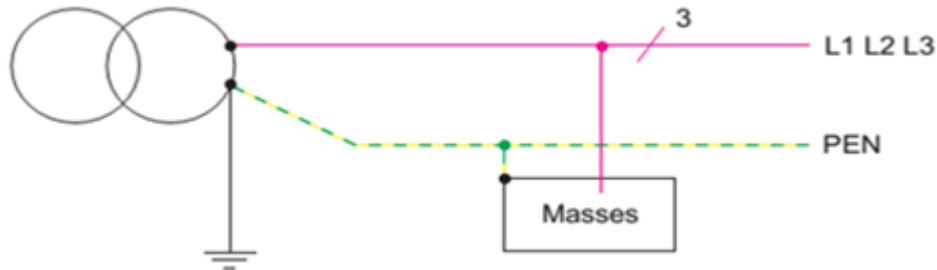


Figure III.17 : schéma TN-C.

c) - Schéma TN-C-S

Combinaison d'un schéma TN-C et d'un schéma TN-S :

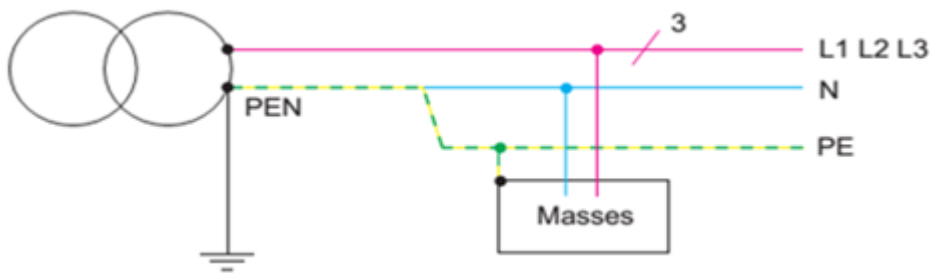


Figure III.18: schéma TN-C-S.

III.6) - Conclusion

Le système de protection est utilisé pour éviter les défauts, il assure le bon fonctionnement de tous les éléments des réseaux électriques.

La conception et le choix des moyens de protection de ces éléments répondent aux besoins d'élimination rapide des défauts électrique, dans le but de limiter les dégradations apportées ces éléments, sans trop perturber le fonctionnement des équipements qu'ils sont raccordés.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Nous avons présenté dans ce mémoire une analyse générale du réseau électrique HTA, avec une présentation des différents architecteurs du réseau de distribution moyenne tension et postes HTA (30 et 10 kV). Ces architectures sont très importantes et très sensibles, ce qui nécessite une protection contre les différents types d'anomalies telles que les courts-circuits, les surtensions, les surintensités, ...etc. pour palier a cette état de fait.

Nous avons étudié les différents types de défauts, leurs causes et conséquences. Leurs effets sur le réseau et leurs interactions sur le matériel électrique. Par la suite nous avons présenté les méthodes de calculer (courants et tensions) lors de court-circuit, ou nous avons exposé également les formules essentielles de calculs et nous avons donné des informations sur les différents éléments composant un système de protection moyenne tension. Ces éléments sont très importants, très sensibles et doivent être bien choisis et bien réglés afin d'assurer une protection efficace contre les différents types d'anomalies qui peuvent survenir sur le réseau électrique.

Chaque fonction de protection et à régler afin d'obtenir les performances optimale dans l'exploitation du réseau et pour tous les modes de fonctionnement.

Nous avons appliqué les méthodes de calcul théorique de courants de court-circuit sur un réseau électrique réelle MT, départ aérien 30 KV de Médéa. (Départs Beni Slimane). Afin d'apprécier les valeurs de réglage de la protection.

Ces protections assurent l'élimination de l'effet des défauts en séparant l'élément défectueux par coupure (fusible, disjoncteur ...etc.) et protégeant les clients.

Comme perspective d'avenir nous proposerons une étude sur les réseaux intelligents SMART GRIDS ou encore une étude comparatif entre les réseaux classiques et les réseaux intelligents.

Références
Bibliographiques

- [1] CHRISTIAN PURET, “ **les réseaux de distribution publique MT dans le monde,**” septembre 1991.
- [2] J.M. DELBARRE, “**Postes à HT et THT - Rôle et Structure,**” Techniques de l’Ingénieur, Traité Génie électrique, D 4570, 2004.
- [3] SIEMENS, “**Power Engineering Guide - Transmission and Distribution,**” 4 th Edition, 2005.
- [4] école technique de Blida, “**exploitation des étages MT des postes HT,**”
- [5] Groupe SONELGAZ, XD, “**Guide Technique de Distribution,**” Document technique de Groupe SONELGAZ, 1984.
- [6] Schneider Electric, “**Architecteur de Réseau de Distribution,**” 2007.
- [7] Groupe SONELGAZ, “ **prévention du risque électrique,**” édition 2011.
- [8] A. DOULET, “**Réseaux de distribution d’électricité,**” Doc. D 4 200v2.
- [9] J-P.MURATET ALSTOM, “**systèmes d’énergie électrique,**” guide de référence 1998.
- [10] D. FULCHIRON, “**surtensions et coordination de l’isolement,**” décembre 1992.
- [11] C. SÉRAUDIE, “ **Surtensions et parafoudres en BT -coordination de l’isolement en BT,**” septembre 1995.
- [12] A. GIRODET, J. BERGEAL. METZ-NOBLAT, “**éléments électrotechniques pour la compréhension des réseaux de transport et de distribution d’énergie électrique,**” 1998.
- [13] D. FULCHIRON, “**Protection des transformateurs de postes MT/BT,**” avril 1998.
- [14] Schneider électrique, “ **les parafoudres en MT,**” 12/1999.
- [15] D. MARQUET, D. MIGNARDOT, J. SCHONEK, “ **Guide de l’installation électrique,**” 2010.
- [16] MICHEL HUDON, “**Service d’électricité en moyenne tension Norme E.21-12,**” (3° édition) mai 2011.

- [17] Ph. CARRIVE, “**Réseaux de Distribution - Structure et Planification,**” Techniques de l’Ingénieur, Traité Génie électrique D 4210, 2006.
- [18] école technique de Blida, “**protection des départs MT,**” subdivision enseignement électricité courants faible septembre 1999.
- [19] Schneider Electric, “**Protection des réseaux électriques,**” Guide de la protection 09/2003.
- [20] CHRISTOPHE PRÉVÉ, ROBERT JEANNOT, “**Guide de conception des réseaux électriques industriels,**” Février 1997.
- [21] B.METZ-NOBLAT, Cahier technique n°213, “**Les calculs sur les réseaux électriques BT et HT,**” édition décembre 2004.
- [22] ANDRE SASTRE, “ **protection des réseaux HTA industriels et tertiaires,**” décembre 1994.
- [23] M. LAMI, “**Protection et Surveillance des Réseaux de Transport d’Énergie Électrique,**” Volume 2, Electricité de France (EDF), février 2003.
- [24] R.CALVAS, ANDRE DUCLUZAUX, et G.THOMASSET, “**Calcul des courants de court-circuit,**” septembre 1992.
- [25] C. PRÉVÉ, “**Protection des Réseaux Electriques,**” Edition HERMES, Paris 1998.
- [26] C. RUSSELL MASON, “**The Art and Science of Protective Relaying,**” New York 1956.
- [27] C. CLAUDE & D. PIERRE, “ **Protection des Réseaux de Transport et de Répartition,**” Direction de la Production et du Transport d’Electricité (EDF), 10/2005.
- [28] B.METZ-NOBLAT, “ **Analyse des réseaux triphasés en régime perturbé à l’aide des composantes symétriques,**” juin 2005.
- [29] Guide technique, “**plan de protection des réseaux HTA Electrotechnique de réseau,**” B.61-24.

- [30] Schneider Electric, “ **Protection des réseaux électriques,**” Guide de la protection 01/2008.
- [31] M.SERPINET et R.MOREL, “ **La sélectivité énergétique en BT,**” édition juin 1993.
- [32] D.RENON, “**guide technique de la distribution d'électricité,**” PCCN - plan de protection créé le : 8/04/2002.
- [33] Schneider Electric, “**transformateurs de mesure d'intérieur ; transformateurs de courant transformateurs de tension,**” catalogue 2012.
- [34] Ch. TEYSSANDIER, “**des transformateurs de courant aux capteurs hybrides, en HT,**” édition décembre 1993.
- [35] S. THEOLEYRE, “**Les techniques de coupure en MT,**” édition septembre 1998.
- [36] Ph. PICOT, “**La coupure du courant électrique dans le vide,**” April 2000.
- [37] S. Y. LEUNG, A. SNIDER & S. M. WONG, “**SF6 Generator Circuit Breaker Modeling,**” International Conférence on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on 19-23 juin 2005.
- [38] protection des réseaux HTA, “**centre de formation Ain M'Lila,**”
- [39] J.L. LILIEN, “**Analyse comparative des mises à la terre aux USA et dans divers pays d'Europe : influences sur les courants de contact,**” 2004 – 2005.
- [40] Guide Technique, “**Mises à la terre des réseaux HTA et BT Modalités pratiques à l'usage des concepteurs et exploitants,**” Décembre 2002.
- [41] B.LACROIX, R.CALVAS, “ **les schémas des liaisons à la terre en BT,**” édition mai 1995.
- [42] R.CALVAS, “**perturbations des systèmes électroniques et schémas des liaisons à la terre,**” septembre 1995.
- [43] Groupe SONELGAZ, Plan de protection des réseaux HTA, “**réglage des protections ; régime du neutre par impédance de limitation,**” 02/1994.

Annexes

A.1) - Caractéristiques des transformateurs HTB/HTA

IEC 76		stem						
TRANSFORMATEUR TRIPHASE POUR L' EXTERIEUR								
N°		0402803/		- Année		2005		
Refroidissement		ONAN/ONAF		- Fréquence		50 Hz		
Enroulement	Puissance assignée MVA	Tension assignée kV	Courant assigné A	Niveaux d' isolement kV	Connexion			
ONAN	30	60±13x1,3846%	VOIR TABLEAU	CF 325 FI 140	Y			
ONAF	40		VOIR TABLEAU					
ONAN	30	31,5	549,86	CF 170 FI 70	Y			
ONAF	40		733,14					
ONAN	15	10,5	824,79	CF 75 FI 28	Δ			
ONAF	20		1099,71					
Masse totale : 72000 kg		Pertes à vide: 22,5 kW		Pertes en c/c kW	Tension de c/c % à 75°	Rapport kV/kV	Puissance MVA	Position
Masse huile : 17000 kg		Symbole de couplage: YNynDd11		155		60/31,5	30	Nom.
Masse partie active: 40000 kg				44			60/10,5	
Echauffement huile : 50 °C		Changeur de prises: EN CHARGE			42			31,5/10,5
Echauffement cuivre : 55 °C				20				
Huile type: minérale - spécification IEC 296 classe II							15	Nom.
							20	
Constructeur : VATECH-STEM S.p.A. - Spini di Gardolo (TN) ITALY								

Fig. 01 : Plaque signalétique de transformateur HTB/HTA.

A.2) - Modes d'alimentation des postes HTA

Le mode d'alimentation est : deux jeux de barres avec couplage et deux sources

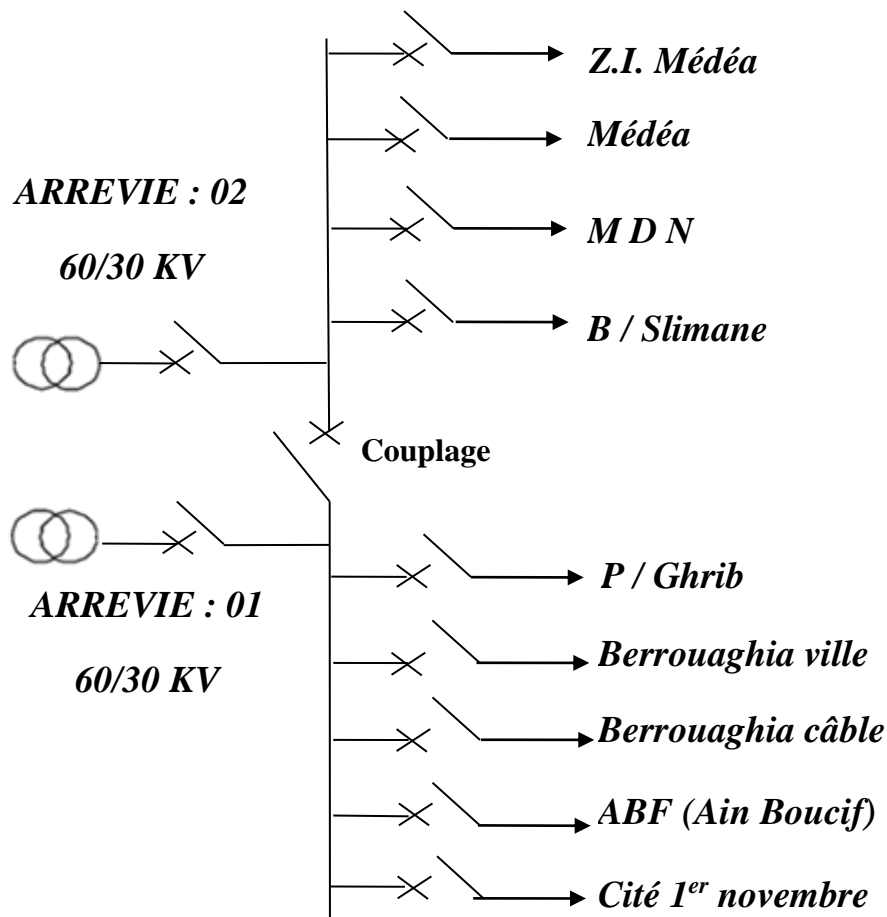


Fig. 02 : mode d'alimentation du réseau HTA.

A.3) - Caractéristiques des conducteurs

Tab. 01 : Caractéristiques des conducteurs.

Nature	Section (mm ²)	r20° (Ω /Km)	r+xtgφ (Ω/Km)	I _{LT} (A)
Cuivre	30	0.627	0.752	109
	70	0.269	0.350	210
	95	0.194	0.267	250
	120	0.157	0.226	300
Almélec	34.4	0.985	1.133	140
	54.6	0.603	0.778	190
	93.3	0.357	0.532	270
Aluminium	70	0.443	0.547	142
	95	0.320	0.409	172
	120	0.253	0.334	270

A.4) - L'Unité de Protection utilisé « TPU S400 »

L'Unité Terminale de Protection TPU S400 est un relais multifonctions destiné à la protection, de sorties de Tension Moyenne, qui incorpore plusieurs fonctions de contrôle et de monitoring.

Le TPU S400 offre une protection complète d'intensité maximale, y compris des protections spéciales contre les défauts entre les phases et contre les défauts à la terre ou résiduels (obtenus à travers la lecture directe ou par software), avec la possibilité d'utiliser la fonction directionnelle.

Les fonctions de tension maximale et minimale peuvent être classées en deux groupes. La protection de fréquence comprend une protection de taux de variation de la fréquence, positive ou négative, ayant comme objectif l'accélération de l'action.

L'unité possède une interface pour PC qui, avec un software adéquat, permet d'accéder aux registres du TPU S400 ou de configurer complètement l'unité. Elle peut encore être branchée à un réseau local avec communication rapide.



Fig. 03 : appareil de protection utilisé sur les départs MT.

➤ Caractéristique de protection

- * Fonctions de protection d'intensité maximale :
 - Protection du Courant Maximum de seuil élevé avec déclenchement rapide (Protection du Seuil Haut) ;
 - Protection du Courant Maximum de seuil réduit mesurable (Protection du seuil bas) ;

- Protection du Courant Maximum de Temps Constant et de gammes de réglage étendues (Protection Universelle) ;
- * Protection de courant maximum directionnel :
 - Protection de courant maximum directionnel de terre ;
 - Protection de Courant Maximal directionnelle contre les défauts entre les phases ;
- * Protection de tension maximale et minimale ;
- * Protection de tension maximale et minimale homopolaire ;
- * protection de fréquence maximale et minimale.

A.5) - Protection de chaque départ



Fig. 04 : *Les unités de protection de chaque départ MT*

B.1) - Détecteurs de défauts pour réseaux 15 à 36 kV, 50 Hz

La gamme d'équipements de détections de défauts et de surveillance de poste Se permet aux équipes sur le terrain de pouvoir localiser les défauts grâce à signal local d'un voyant externe.

Mise en œuvre simple : ne nécessite pas d'adaptation de la partie MT des post et souterrains.

Détecteurs de défauts souterrains : architecture évolutive vers la solution Sent associe les fonctions des détecteurs de défaut avec de la communication distal solution complémentaire bénéficie des avantages suivants :

- * permettre une localisation précise et en temps réel du secteur du réseau en défaut ;
- * améliorer le temps d'intervention pour isoler/réparer la partie du réseau en défaut.



Fig. 05 : détecteur de défaut.

B.2) - Tableaux BT

Les tableaux Basse Tension sont destinés à être utilisés dans tous les postes au sol MT/BT de distribution publique conventionnels.

Ils assurent et garantissent la protection des transformateurs de 100 à 1250 kVA ainsi que l'alimentation et la protection des différents départs de réseaux situés en aval du poste de transformation.

Ils peuvent être équipés de centrales de mesure permettant d'informer l'exploitant sur les données fonctionnelles : courants, tensions, déséquilibre de charge, puissances actives et réactives, ouverture de la porte du poste MT/BT, pression de huile de transformateur.

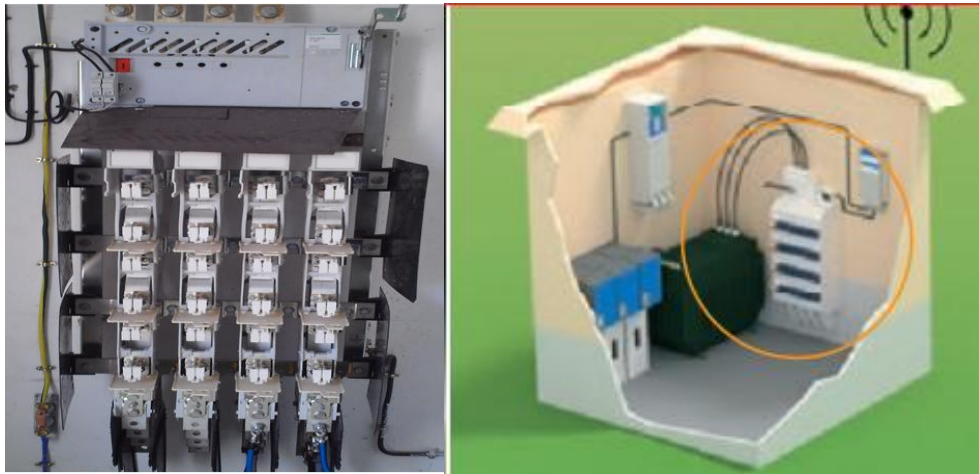


Fig. 06 : tableau pour la distribution BT.

B.3) - Cellule d'arrivée/ départ et de protection

L'appareillage Moyenne Tension est un appareillage de type modulaire, isolé dans l'air, à coupure dans le SF6 et logé dans une enveloppe métallique. Le système est composé de plusieurs cellules standardisées pouvant être livrées en système complet ou en cellules individuelles.



Fig. 07 : cellule pour les postes maçonnés.

C.1) - Gants isolants

Tab. 02 : caractéristique de gants isolants

classe	Tension max d'utilisation (V)	Epaisseur moyenne (mm)	Masse (g)
00	500	0.5	90
0	1000	1.0	200
1	7500	1.5	270
2	17000	2.3	450
3	26500	2.9	560



Fig.08 : gants isolants pour les réseaux MT.

C.2) - Tabourets isolants

- * Isolement nominal 25KV(dim :500X260X500mm-masse 3.7kg)
- * Isolement nominal 40KV(500X500X260mm-masse 3.9kg)

C.3) - Tapis isolants

Tab. 03 : caractéristique d'un tapis isolants.

Tension (KV)	Epaisseur (mm)	Dimensions (m)	Masse (kg)
20	3	0.6 x 0.6	2.15
20	3	1x5	28
20	3	1x10	55
≤33	3	0.6x1	2.40



Fig.09 : Vérification d'absence de tension + perche.



Fig.10 : cendre pour décharger la ligne.



Fig.11 : CPI : contrôleur permanent.



Fig.12 : appareil de mesure la résistance de la terre.

Résumé

Les réseaux électriques sont caractérisés par leur grande dimension, aussi bien du point de vue étendue géographique que du nombre d'appareils qui le composent (on parle de plusieurs appareils : générateurs, transformateurs, lignes/câbles, disjoncteurs, capteurs, compensateurs, etc.)... Ces réseaux sont exposés en permanence à des perturbations diverses et variées qui vont de la variabilité naturelle de la consommation qui sont issues des conditions météorologiques (tempêtes, foudre, ...) en passant par des erreurs humaines et autres agressions extérieures. Pour cela on a démontré les formules concernant le calcul des différents types de défauts ; afin d'assurer le réglage de la protection. Ces protections assurent à la fois une bonne sécurité des personnes, contre les électrocutions et contre les effets destructifs des courants forts des biens., ainsi qu'une bonne continuité de service globale du réseau de distribution en isolant la partie en défaut du réseau afin d'en préserver le fonctionnement.

Mots clés : Distribution électrique, Moyenne tension, défauts, court-circuit, Protection.

ملخص:

تتميز الشبكات الكهربائية بأبعادها الكبيرة من الناحية الجغرافية وعدد الأجهزة المكونة لها (العديد من الأجهزة المشار إليها: المولدات والمحولات وخطوط النقل / كابلات، وقواطع، وأجهزة الاستشعار، والتقليم، الخ....).

تتعرض هذه الشبكات باستمرار لاضطرابات مختلفة ومتنوعة من بينها التقلبات الطبيعية التي هي مستمدة من الطقس (العواصف والبرق، ...) او من خلال الأخطاء البشرية والاعتداءات الخارجية الأخرى. لذلك قد ثبتت الصيغ لحساب أنواع مختلفة من العيوب، لضمان ضبط اجهزة الحماية. من اجل الحماية الجيدة للأشخاص ضد إصابات التكهرب والعتاد ضد التيارات الكهربائية المرتفعة. واستمرارية جيدة لخدمات شبكة التوزيع فنعمل الجزء المصاب من الشبكة " من أجل الحفاظ على الوظيفة

كلمات المفاتيح: التوزيع الكهربائي، الجهد المتوسط، العيوب، دارة القصر، الحماية.