

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique

Département d'Electrotechnique



mémoire de fin d'étude

En Vue de l'Obtention du Diplôme
D'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique

Option

Réseau Electrique

Thème

Etude des Protection du Départ
MT BOUKHALFA issu du poste
60/30 KV Draa Ben Khedaa

Proposé par :

M^R CHERNAI
(SONELGAZ)

Dirigé par

M^R OTMANE Cherif

Présenté par :

M^{elle} OUGUENOUNE Zahia
M^{elle} MAMOU Nawel

Promotion : 2008/2009

Sommaire

Introduction générale	1
Légende	
Chapitre I : généralités sur les réseaux électriques	
I-1 Introduction.....	2
I-2 Organisation des réseaux électriques.....	2
I-1-1 Réseaux de transports et d'interconnexions	4
I-1-2 Réseaux de répartitions.....	4
I-1-3 Réseaux de distributions.....	4
I-3 Structures topologiques du réseau électrique.....	5
I-3-1 Les critères du choix d'une topologie	5
I-3-2 Différentes structures topologiques des réseaux électriques.....	6
I-3-2-1 Réseaux maillés.....	7
I-3-2-2 Réseaux bouclés.....	8
I-3-2-3 Réseaux radiaux	8
I-4 Réseaux moyenne tension.....	9
I-4-1 Réseau moyenne tension souterrain(RMTS).....	9
I-4-2 Structures utilisables en réseau souterrains.....	10
I-4-3 Réseau moyenne tension aérien(MTA).....	12
I-5 Schéma unifilaire d'un réseau MT.....	13
I-5-1 Différents éléments du schéma.....	13
I-5-1-1 Poste de transformation HT/MT.....	13
I-5-1-2 Poste de distribution MT/BT.....	14
I-5-1-3 Réseau basse tension aérien.....	15
I-6 Lignes aériennes.....	15
I-6-1 Composants d'une ligne aérienne.....	17
I-7 Conclusion.....	17

Chapitre II : Calcul des courants de défauts

II-1 Introduction.....	25
II- 2 Définition d'un défaut.....	25
II-3 Les différents types de défauts.....	25
II-3-1 Court –circuit.....	25
II-3-2 Surcharge.....	25
II-3-3 Surtensions.....	26
II-3-4 Déséquilibre.....	27
II-4 Origines des défauts.....	27
II-4-1 Défauts d'origine externe.....	27
II-4-2 Défauts d'origine interne.....	27
II-5 Caractères des défauts.....	28
II-5-1 Durés des défauts.....	28
II-5-2 Formes de défauts	28
II-5-3 Courant de court – circuit.....	28
II-6 Conséquences des défauts.....	29
II-6-1 Fonctionnement des réseaux.....	29
II-6-2 La tenue du matériel.....	29
II-6-3 Les chutes de tension.....	29
II-6-4 Les explosions de disjoncteurs.....	29
II-6-5 Les circuits de télécommunications.....	30
III-6-6 La sécurité des personnes.....	30
II-7 Intensité des courants de court – circuit.....	30
II-7-1 Facteurs influençant la valeur de l'intensité d'un courant de I_{cc}	31
II-8 Utilisation des composantes symétrique pour le calcul de I_{cc}	31
II-8-1 Principe de décomposition d'un système sinusoidale.....	31
II-9 Méthode de calcul de I_{cc}	32
II-10 Calcul des défauts.....	33

II-10-1 Défaut monophasé – terre.....	33
II-10-2 Défaut biphasé isolé.....	36
II-10-2-1 Défaut biphasé isolé.....	36
II-10-2-3 Défaut biphasé à la terre	39
II-10-3 Défaut triphasé.....	41
II-11 Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de I_{cc}	45
II-11-1 Définition.....	45
II-11-2 Réactance des éléments du réseau.....	45
II-11-2-1 Impédance ramené a un seul niveau de tension.....	45
II-11-2-2 Réactance réduites des éléments constituant le réseau.....	45
II-12 Conclusion.....	48
Chapitre III : Protection d'un départ moyenne tension	
III-1 Introduction.....	49
III-2 Généralités.....	49
III-2-1 Définition d'un système de protection.....	49
III-2-2 Rôle d'un système de protection	50
III-2-3 Plan de protection	50
III-2-4 Qualités d'un système de protection.....	50
III-2-5 constitution d'un dispositif de protection.....	50
III-3 Régime de neutre.....	51
III-3-1 Critère de choix du régime de neutre.....	51
III-3-2 Les différents régimes de neutre.....	52
III-4 Appareillage de protection contre les surtensions.....	55
III-4-1 Les parafoudres.....	55
III-4-2 Les éclateurs.....	57
III-5 Appareillage de protection contre les surintensités.....	58
III-5-1 Sectionneurs.....	58
III-5-1-2 Sectionneurs de mise a la terre.....	58

III-5-1-3	Sectionneurs pantographe.....	58
III-5-1-4	Interrupteurs-sectionneurs.....	59
III-5-2	Disjoncteurs.....	59
III-5-2-1	Les différents types de disjoncteurs.....	60
III-5-2-1-1	Disjoncteurs à l'huile.....	60
III-5-2-1-2	Disjoncteurs à gros volume d'huile.....	60
III-5-2-1-3	Disjoncteurs à faible volume d'huile	61
III-5-2-1-4	Disjoncteur à air comprimé (DAC).....	61
III-5-2-1-5	Disjoncteurs au SF6 (hexafluorure de soufre).....	62
III-5-2-1-6	Disjoncteur à vide.....	63
III-5-2-2	Caractéristiques des disjoncteurs	63
III-5-3	Relais.....	64
III-5-3-1	Désignation d'un relais.....	64
III-5-3-2	Différents types de relais.....	65
III-5-3-3	Constitution d'un relais.....	64
III-6	Protection des transformateurs.....	67
III-6-1	Défauts dans les transformateurs.....	67
III-6-2	Protection interne des transformateurs.....	68
III-6-2-1	Protection pas détection des gaz.....	68
III-6-2-1-1	Description du relais Buchholz.....	68
III-6-2-1-2	Principe de fonctionnement.....	69
III-6-3	Protection externe des transformateurs.....	70
III-7	Protection des départs moyenne tensions.....	70
III-7-1	Protection contre les défauts entre phases.....	71
III-7-2	Protection contre les défauts entre phase et terre.....	71
III-7-3	Protection contre les courts-circuits.....	72
III-8	Protection des jeux de barre MT et leur câbles de liaisons aux transformateurs HT/MT.....	72

III-8-1 Protection des jeux de barre.....	72
III-8-1-1 Protection différentielle.....	73
III-8-1-2 Protection de masse.....	73
III-8-2 Protection des liaisons.....	73
III-9 Conclusion.....	73
Chapitre IV: Application sur le départ BOUKHALFA.	
IV-1 Introduction.....	74
IV-2 Calculs des courants de courts-circuits.....	74
IV-2-1 Courant de court-circuit triphasé.....	74
IV-2-2 Courant de court-circuit monophasé (entre une phase et la terre)...74	
IV-3 Application.....	75
IV-3-1 Données techniques.....	75
IV-3-2 Méthode de calculs.....	75
IV-3-3 Choix de valeur de base.....	75
IV-4 Valeurs des impédances réduites.....	77
IV-4-1 Composantes directes.....	77
IV-4-2 Composantes homopolaires.....	78
IV-5 Valeurs de courants de court-circuit se produisant sur le jeu de barre30Kv.....	80
IV-6 Calculs des courants de coupure.....	82
IV-6-1 Valeurs normalisées pour le choix des disjoncteurs.....	84
IV-6-2 Valeurs obtenues.....	84
IV-7 Conclusion.....	85
Conclusion générale.....	86

Introduction générale

L'énergie existe sous de multiples formes, notamment mécanique, thermique, chimique, rayonnante, nucléaire et électrique.

L'énergie qui nous préoccupe dans notre étude est l'énergie électrique, qui est une nécessité capitale pour les besoins en consommation des particuliers et des entreprises dans notre monde d'aujourd'hui.

Les réseaux électriques représentent des investissements considérables consentis par la SONELGAZ pour alimenter ses clients aux meilleures conditions de coût et de qualités de service (continuité de fourniture d'énergie, constance de la tension et de la fréquence).

Pour des raisons techniques et économiques évidentes, il n'est pas possible de construire des réseaux exempts de défauts de fonctionnement. Ils sont en particulier exposés aux agressions naturelles comme la foudre. Les réseaux sont donc affectés par des perturbations qui peuvent mettre en danger le matériel, les personnes et la qualité de service dont il faut chercher à minimiser les conséquences. Tout défaut doit être détecté immédiatement et l'ouvrage affecté doit être séparé du réseau afin d'éviter la propagation du défaut sur l'ensemble du réseau; c'est l'objet des protections.

Notre objectif est d'étudier la protection d'un départ moyenne tension (MT). Pour ce faire, on a subdivisé notre travail en quatre chapitres comme suit

- * Le premier chapitre traite des généralités sur les réseaux électriques qui assurent le lien entre les sites de production et des différents points de consommation.

- * Le deuxième chapitre est réservé à l'étude des différents incidents susceptibles d'affecter un réseau moyenne tension, et l'utilité du calcul des courants de courts - circuits.
- * le troisième chapitre est consacré à l'étude des protections
- * et dans le dernier chapitre, en se basant sur les données et les paramètres du BOUKHALFA (30KV), nous avons mis en application notre étude.

Enfin nous terminons par une conclusion générale

Chapitre I

Généralités sur les réseaux électriques

I-1 Introduction :

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

Un réseau est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques.

Les postes électriques permettent de répartir l'électricité, de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

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

I-2 Organisation des réseaux électriques :

Les réseaux électriques sont organisés de sorte que des lignes aériennes et les canalisations souterraines soient établies en connexion entre la production et la consommation figure (I-1). Les nœuds qui forment le raccordement de ces lignes sont appelés postes.

Et étant donné l'importance de ces postes, des transformateurs y sont habituellement inclus, avec, entre autres, dispositif de contrôle, de réglage et de protection. [1]

Les compagnies d'électricité divisent leurs réseaux en trois catégories

- Réseaux de transports et d'interconnexions.
- Réseaux de répartitions.
- Réseaux de distributions.

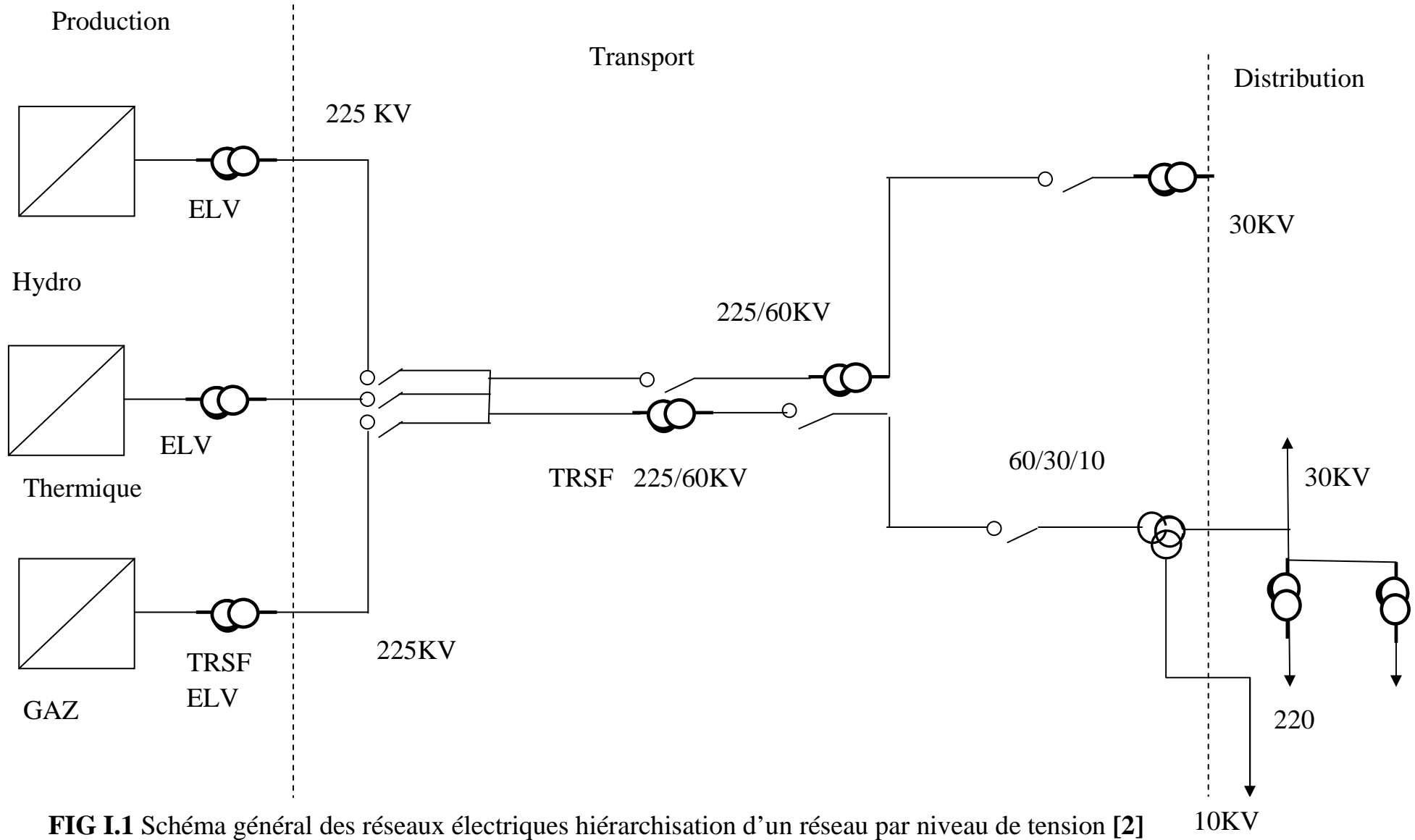


FIG I.1 Schéma général des réseaux électriques hiérarchisation d'un réseau par niveau de tension [2]

I.2 Réseaux de transports et d'interconnexions

Ce réseau est constitué de lignes à très haute tension et haute tension de manière à minimiser les pertes joules et les chutes de tension sur ces grandes distances.

Ce réseau a une double mission :

- La première mission est de collecter l'énergie fournie par les centres de production afin de l'acheminer vers les zones de consommation (fonction transport).
- La deuxième mission est d'assurer la liaison entre les centres de production et permettent des échanges d'énergie entre différentes régions et même avec les pays voisins (fonction d'interconnexion). [3]

I.2.3 Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition sont à haute tension, ils jouent le rôle d'intermédiaire entre le réseau de transport et le réseau de distribution.

L'énergie est injectée essentiellement par le réseau de transport à l'aide des transformateurs et également par des centrales électriques de moyenne tension. [5]

I.2.4 Réseaux de distributions

Ces réseaux constituent les lignes et les postes de transformations servant à alimenter les clients. Ils comportent deux niveaux :

- Lignes moyenne tension alimentées par des postes HT/MT, elles fournissent de l'énergie électrique soit directement aux consommateurs importants (livraison), soit aux différents postes MT/BT.
- Lignes basse tension alimentant les usagers en monophasé ou triphasé à quatre fils (220V/380V). [4]

I.3 Structures topologiques du réseau électrique

Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures, chaque type possède des spécificités et des modes d'exploitation très différents.

Hormis les problèmes économiques, c'est principalement l'expérience d'exploitation qui conduit à choisir la structure la mieux adaptée d'un réseau en tenant compte de sa fonction et des conditions particulières de la desserte.

I.3.1 Les critères de choix d'une topologie :

Le choix d'une topologie répond à des objectifs :

- Assurer la sécurité des personnes et des biens.
- Obtenir un niveau de qualité de service fixé.
- Assurer le résultat économique souhaité.

Mais il doit aussi soumettre à des impératifs :

Etre en adéquation avec la densité d'habitat et/ou de consommation, aussi appelée densité de charge qui joue un rôle de plus en plus prépondérant, cette densité permet d'appréhender les différentes zones géographiques de consommation en terme de concentration de charge. Une des segmentations utilisées par des distributeurs consiste à définir deux types de zones de consommation

- zone à faible densité de charge $< 1 \text{ MVA/Km}^2$.
- Zone à forte densité de charge $> 5 \text{ MVA/Km}^2$.

Tenir compte de l'étendue géographique, du relief et des difficultés de construction.

Satisfaire aux contraintes d'environnement, en particulier climatique (température minimale et maximale, vent et neige) et respect du milieu. [3]

I.3.2 Différentes structures topologiques des réseaux électriques :

Les réseaux électriques peuvent être organisés selon plusieurs types de structures exposés ci-dessous

- Réseaux maillés
- Réseaux bouclés
- Réseaux radiaux

I.3.2.1 Réseaux maillés :

Les réseaux maillés fig (I-2) sont des réseaux où les liaisons forment des boucles réalisent une structure d'un réseau de transport. Les lignes jouent le rôle d'interconnexion entre les centrales [3]

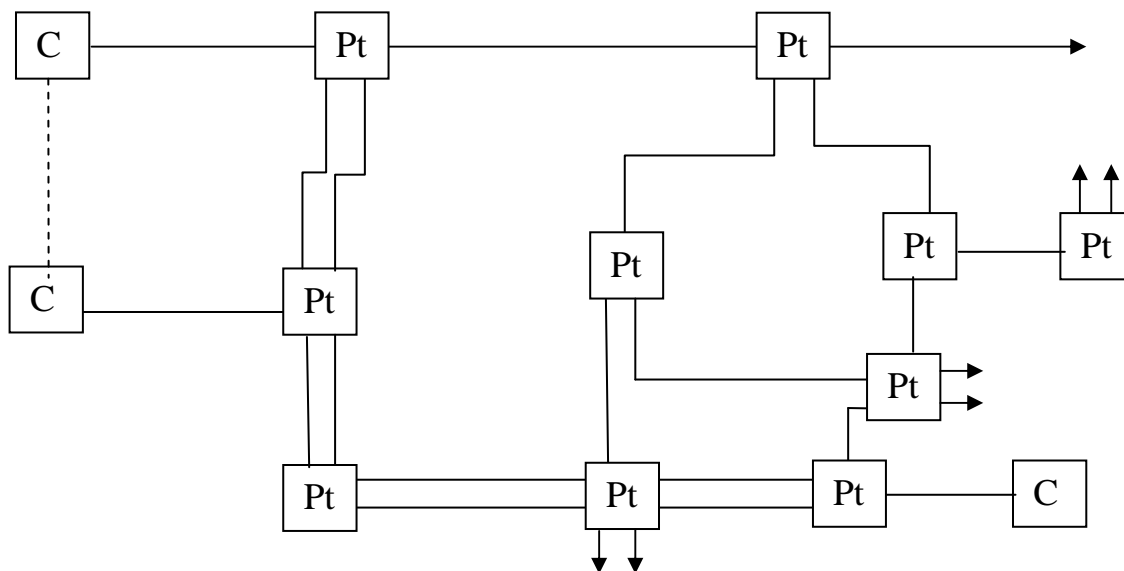


Fig I-2 : Représentation d'un réseau de transport maillé

a- Avantages

- une très grande sécurité d'exploitation.
- une chute de tension réduite.
- une grande continuité de service. [4]

b- Inconvénients

- forts courant de court-circuit car l'impédance de ce dernier est faible.
- Etude très complexe.
- réalisation et entretien coûteux. [4]

I.3.2.2 Réseaux bouclés :

C'est un réseau maillé simplifié fig (I-3) présentant un certain nombre de boucles fermées, chacune des ces boucles contient un nombre limité de source.

Les réseaux bouclés sont généralement utilisés pour les réseaux de répartitions.[3]

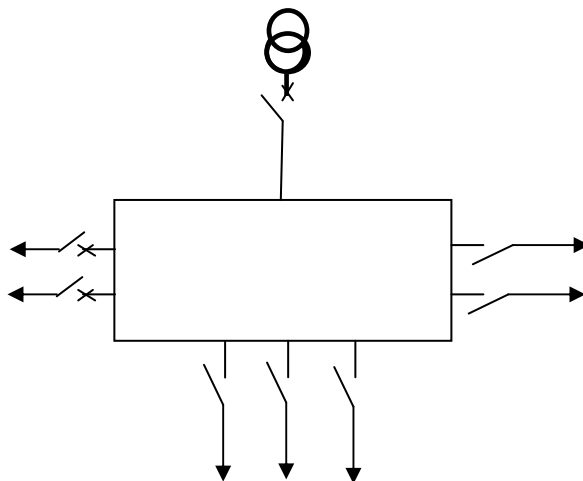


Fig I-3: réseaux bouclé

a- Avantages :

- une très grande continuité de service.
- faible chute de tension par rapport au réseau radial. [4]

b- Inconvénients :

- fort courant de court-circuit car l'impédance de court-circuit est faible.
- difficulté d'exploitation.
- prix de réalisation et de suivi très élevé. [4].

I.3.2.3 Réseaux radiaux :

Les réseaux radiaux sont exploités débouclés, chaque départ MT issu généralement d'un poste HT/MT, alimente un certain nombre de poste MT/BT, d'ou partent des lignes BT qui alimentent à leurs tours les usagers.

On rencontre deux types principaux de structures ;

- En coupure d'artère : typique des réseaux souterrains, ces réseaux sont conçus pour un éventuel fonctionnement en bouclé.
- En structure arborescente : typique des réseaux ruraux aériens, ces réseaux comportent des points de bouclage pour assurer un secours par la moyenne tension. fig (I-4)

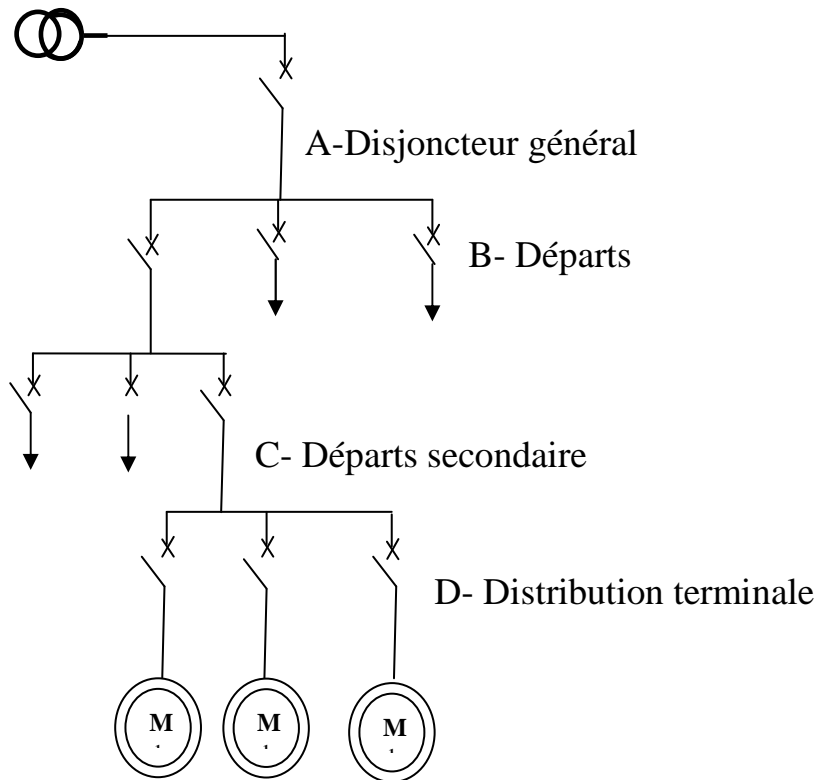


Fig I-4 : Structure radial

a-Avantages :

- Faible courant de court – circuit car l’impédance de court – circuit est élevée.
- Fiabilité d’étude et d’exploitation.
- Coût et réalisation non élevé.

b- Inconvénients :

- Grande chute de tension.
- Mauvaise continuité de service.
- Un défaut au niveau d’un départ principal affecte tous les départs au niveau secondaire et de distributions terminales issues de départ principal.

I.4 Réseaux moyenne tension

Il y'a deux types de réseaux moyenne tension

- 1) Réseau moyenne tension souterrain.
- 2) Réseau moyenne tension aérien.

1-4-1 Réseau moyenne tension Souterrain (RMTS) :

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

Le réseau souterrain est à neutre non distribué, celui-ci étant mis à la terre au niveau des postes sources à travers une bobine de point neutre limitant le courant de défaut à 1000A. (Fig. 1.5)

Réseau (KV)	Conducteur	Section	Limite thermique(1) (A)
10	Cuivre	120	300
	Aluminium	180	
30	Cuivre	70	230

Tableau I-1 : nature et section des conducteurs [5]

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

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

I-4-2 Structures utilisables en réseaux souterrains

a- Structure maillé :

Elle permet la réalimentation d'indisponibilité d'un tronçon ou d'un poste MT/BT après l'élimination de l'élément défectueux, mais présente l'inconvénient de n'utiliser les câbles que partiellement par rapport à leur capacité. Elle exige de plus un point commun par paire de câbles et demande une surveillance continue du réseau en fonction de l'accroissement de la charge. Cette structure est à abandonner compte tenu de ces inconvénients.

b- structure à artère source à source ;

Les câbles sont issus de deux sources distinctes. Cette structure est cependant utilisée dans le cas des postes HT/MT où la puissance ne peut être garantie. Cette solution limite la charge à la moitié de la capacité des câbles de distribution.

Le secours dans cette structure est assuré par les câbles contigus durant leur première exploitation fig (I-6).

Cette structure peut se développer dès que la charge croit vers un cas particulier de la structure fuseau avec un câble de secours et une liaison par un câble entre les différents points d'ouverture. Ce câble est installé pour éviter la limitation des courants à des seuils très inférieurs aux capacités thermiques des conducteurs.

L'utilisation d'un deuxième câble de secours n'est pas justifiée même en cas d'incident affectant simultanément les deux câbles. Le gain en énergie non distribuée qu'il procure est minime par rapport au coût d'un deuxième câble de secours.

c- structure en épi :

Chaque câble de distribution est rabattu à son extrémité au câble de secours. Le point de connexion est en général un poste de distribution publique alimenté soit par un câble de distribution, soit par un câble de secours. Cette structure permet une meilleure utilisation des câbles par rapport aux deux structures précédentes (fig I-7).

d- Structure en fuseau :

Elle est considérée comme l'aboutissement de l'évolution de la structure en épi pour laquelle, tous les câbles de distribution aboutissent à un point unique qui permet de secourir chacun de ces derniers et contribuer à une reprise rapide du service par la diminution des durées d'interruption. Elle s'intègre bien dans les réseaux existant et permet une pose progressive des câbles en particulier celles des câbles de secours (fig. I-8).

I-4-3 Réseau moyenne tension aériens (MTA) :

La structure des réseaux est arborescente à deux ordres de lignes dorsales et dérivations. Des sous dérivations peuvent être utilisés pour alimenter des charges isolées ou pour regrouper sous un même interrupteur à commande manuelle un ensemble de poste MT/BT. (fig I-9)

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

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

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

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

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

<i>Lignes</i>	<i>Nature</i>	<i>Section (mm²)</i>	<i>Limite thermique(1) (A)</i>
<i>Dorsale</i>	Alliage AL	93.3	270
<i>Dérivation</i>	Alliage AL	34.4	140

Tableau I-2 : Nature et Section des Conducteurs [5]

(1) Valeurs rapportées à la température ambiante de 40°C et température au conducteur de phase de 70°

I-5 Schéma unifilaire d'un réseau MT

Le schéma unifilaire du réseau MT est donné par la figure (I-10)

I-5-1 Différents éléments du schéma :

I-5-1-1 Poste de transformation HT/MT :

A) Partie haut tension : (fig I-11)

Les schémas de principe à l'état final sont de deux types :

- Postes HT/MT pour réseau aérien à moyenne tension
- Postes HT/MT pour réseau souterrain à moyenne tension

Dans la première période d'exploitation du poste, l'alimentation peut se faire en antenne en raison de l'importante réduction de la charge et des possibilités d'apport du réseau MT adjacent.

Un schéma provisoire est admissible dans le cas d'une dérivation ou d'une antenne HT et pour alimenter une charge MT d'importance réduite. Un ensemble de cabines mobiles constituant une réserve dans ces cas devra être prévue.

Les postes HT/MT doivent pouvoir débiter la puissance maximale appelée prévue, même dans le cas de simple incident transformateur. Il est admis alors que transformateurs puissent être surchargés de 20% pendant deux heures à une température ambiante de 40°C. [5]

B) Partie moyenne tension :

La partie moyenne tension des postes HT/MT alimentant un réseau aérien est à deux demi- jeux de barres section nables par interrupteur en charge motorisé.

Le nombre de départs pour ce type de réseau sera de 16.24 ou 32. Les cellules seront en générale sous enveloppe métallique. Les disjoncteurs seront débroschables et interchangeable. Il conviendra de préférer l'équipement en disjoncteur à maintenance réduite.

Les postes sources HT/MT peuvent être constitués d'un étage HT plus complexe avec double jeux de barres. [5]

I-5-1-2 poste de distribution MT/BT :

Il est localisé entre réseau de distribution MT et le réseau de distribution BT, son rôle est d'assurer le passage de la MT (≈ 1 KV) à la BT (≈ 100 V)

Ces postes sont constitués de :

- Equipement MT pour le raccordement du réseau amont
- Transformateur de distribution MT/BT
- Tableau des départs BT comme points de raccordement du réseau aval de distribution. [2]

I-51-3 Réseau basse tension aériens (BT) :

Le réseau de distribution basse tension alimente la clientèle domestique et certains types d'usagers de tension 220/380V, ces réseaux peuvent être aériens ou souterrains

a) Réseau basse tension aérien (BTA) :

Leurs structures est arborescentes à deux ordres de lignes, la dorsale en 38.8mm² cuivre et la dérivation en 17.8mm² cuivre.

b) Réseaux basse tension souterrains (BTS) :

En zone urbaine, les grands ensembles d'habitations collectifs sont desservis par des réseaux BTS exploités en boucle ouverte.

Ces réseaux alimentent les installations intérieures des abonnés domestiques à travers les branchements individuels ou collectifs. [2]

I-6 Lignes aériennes :

I-6-1 Types de lignes :

Le genre de ligne utilisée est imposé par les facteurs suivants :

- Puissance à transporter
- Distance de transport
- Coût
- Esthétique, encombrement et facilité d'installation.[6]

On distingue quatre types de lignes :

a) Ligne de distribution BT :

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

Les lignes sont habituellement des câbles ou des barres omnibus fonctionnant à des tensions inférieures à 600V. [6]

b) Lignes de distribution MT :

Ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie de l'électricité. Leur tension est comprise entre 2.4KV et 69KV.

c) Lignes de transport HT :

Ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de génération. Les lignes fonctionnent généralement à des tensions inférieures à 230 KV.

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

d) Les lignes de transport THT :

Ce sont les lignes qui relient les centrales éloignées aux centres de consommation ou d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs allant jusqu'à 1000 Km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 750KV. [6]

I-6-2 Composants d'une ligne aérienne

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

a) Conducteurs :

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

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

b) Isolateurs :

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

c) Support :

Les supports sont souvent appelés pylônes à cause de leur forme.

Ils ont pour rôle de maintenir les conducteurs à une certaine hauteur de la surface du sol et ils doivent résister aux divers efforts auxquels ils sont soumis.

I-7 Conclusion :

L'objectif de notre travail étant l'étude du réseau de distribution MT ; nous avons présenté dans ce chapitre, les éléments qui le forme et la structure utilisée afin de rendre plus facile la compréhension des chapitres ultérieurs.

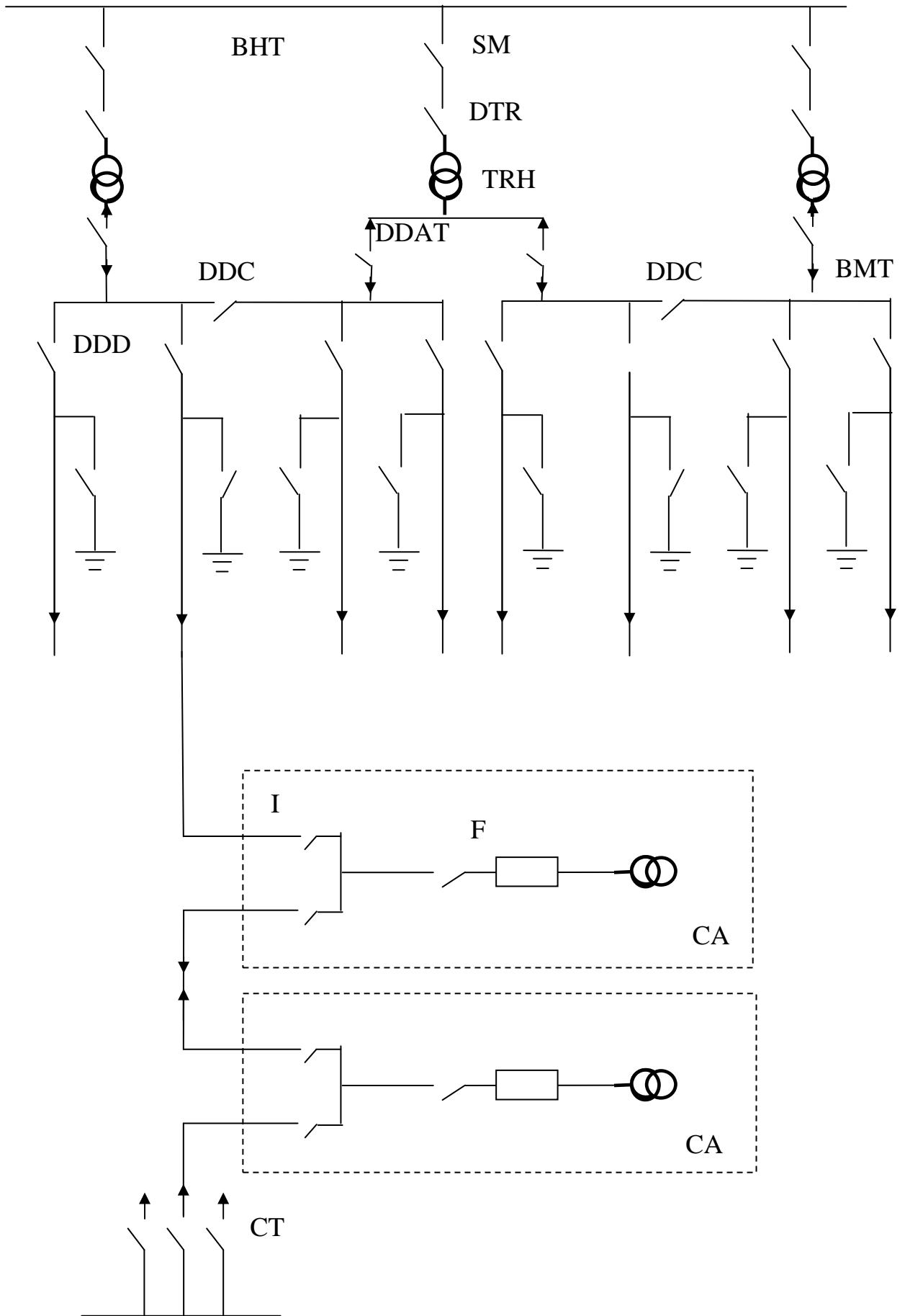


Fig I-5 structure générale des réseaux souterrains moyenne tension

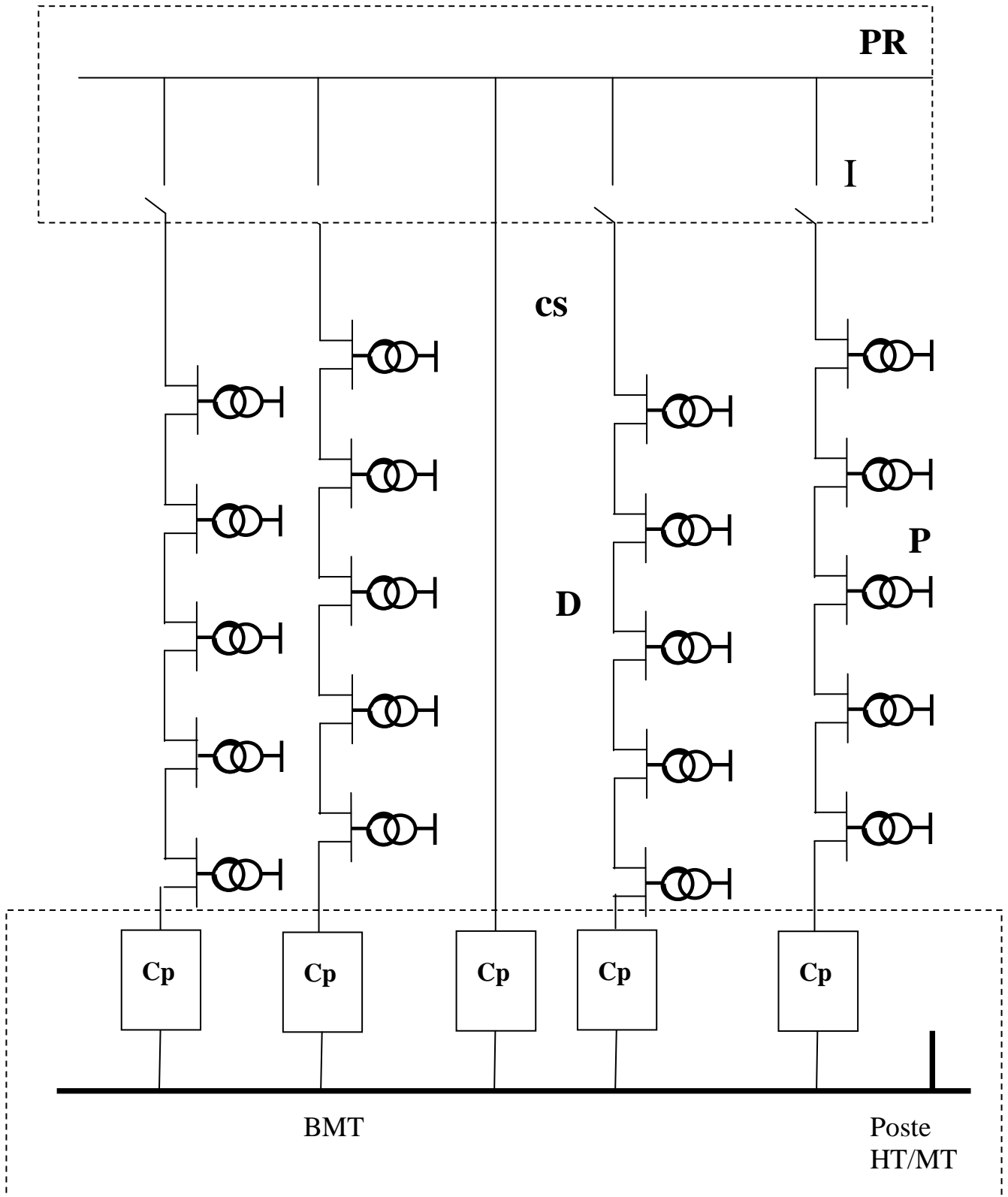


FIG I-8 : Structure des réseaux souterrains à moyenne tension type fuseau.

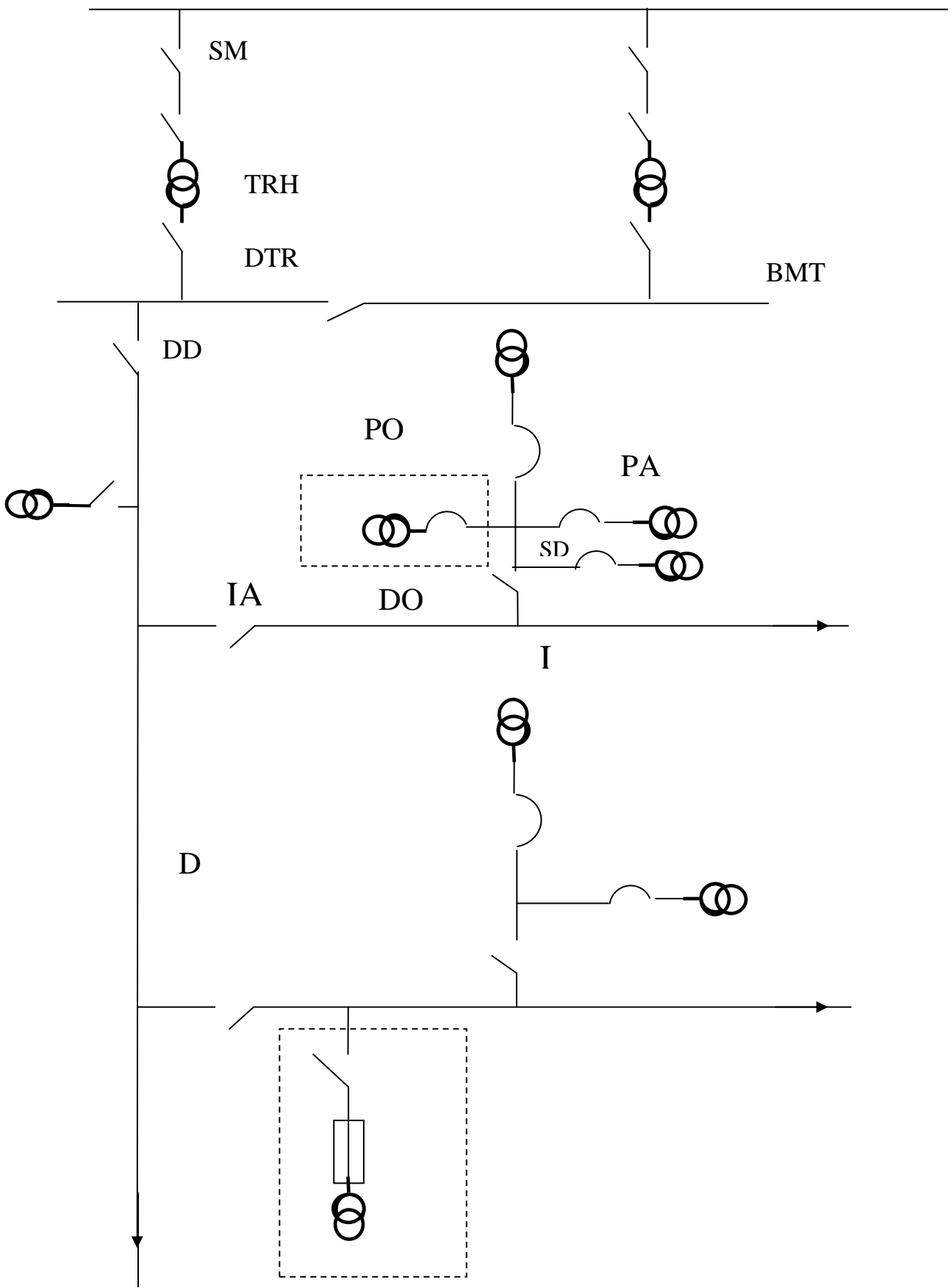


FIG I-9 : structure générale des réseaux aériens moyenne tension [1]

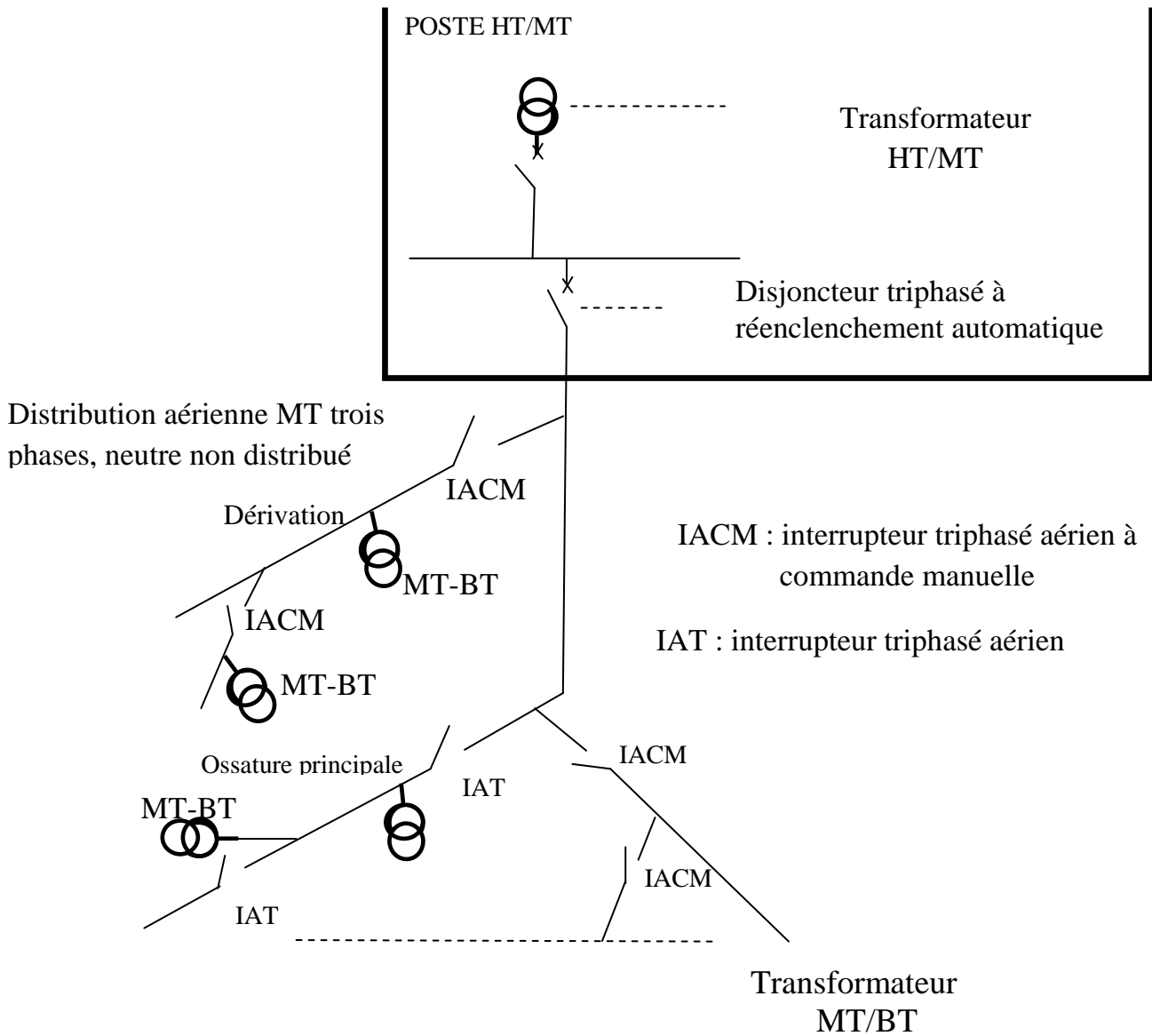


Fig I-10 schéma unifilaire d'un réseau MT

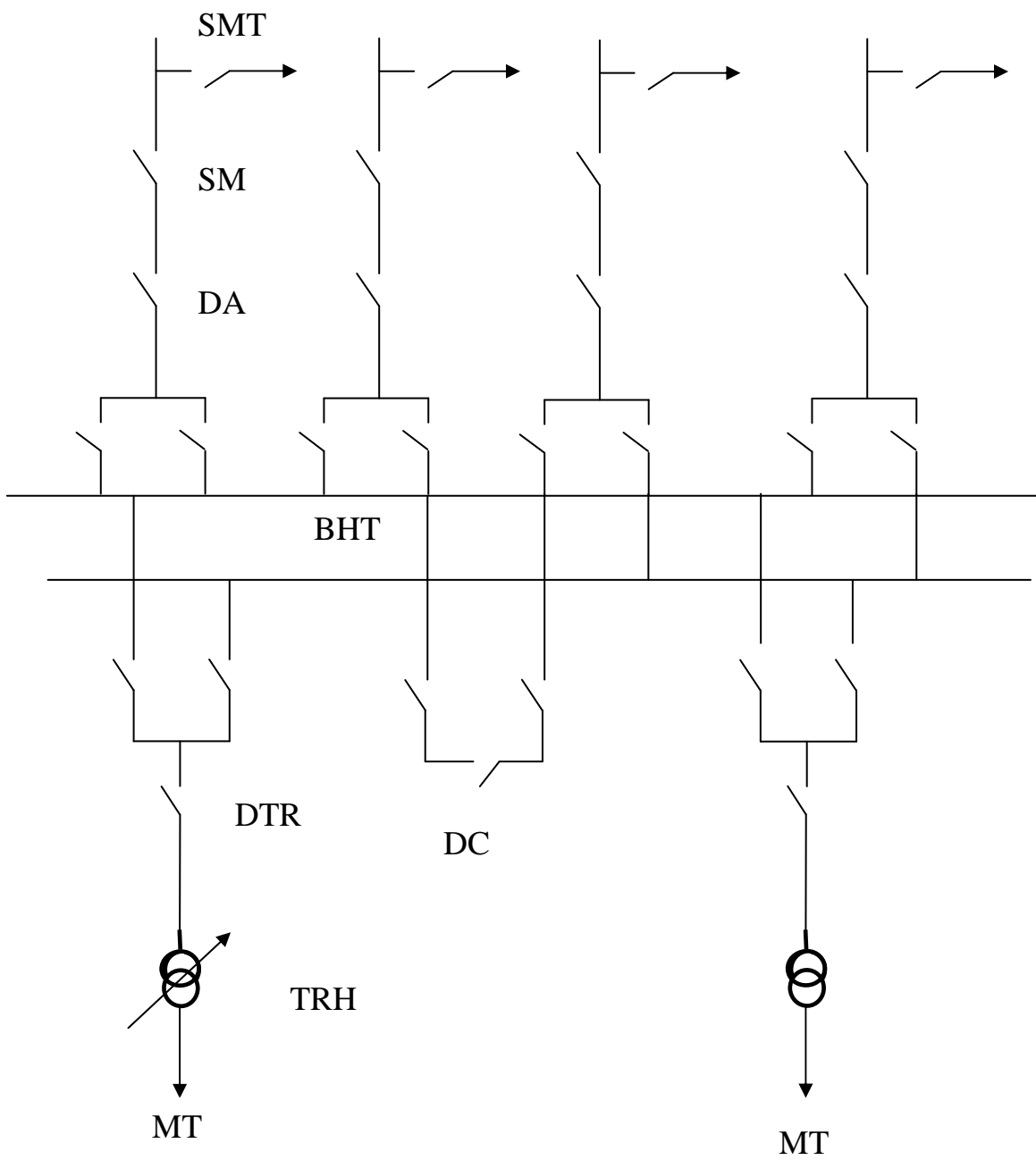


FIG I-11 : Partie haute du poste source HT/MT avec deux transfo pour réseaux souterrain au aérien

Chapitre II

Calcul des courants de défauts

II-1 Introduction :

Les réseaux de distribution d'énergie électrique peuvent être le siège d'un certain nombre d'incidents qui sont dus, en générale, à l'apparition de défauts. Ces défauts donnent lieu à l'établissement de courant de court-circuit, soit entre conducteurs soit entre un ou plusieurs conducteurs et le sol.

II-2 définition d'un défaut :

On appelle défaut toute perturbation qui engendre des modifications des paramètres électriques d'un ouvrage. Les réseaux sont donc exposés à certaines anomalies qui agissent sur son bon fonctionnement, malgré les dispositions prises pour améliorer la qualité et minimiser leurs conséquences. [9]

II- 3 Les différents types de défauts :

Les différents types de défauts qu'on rencontre sont : [8]

II-3-1 court - circuit:

Suppression d'isolement entre deux ou trois conducteurs ou entre phase et la terre.

a- Les causes :

- Rupture de conducteur
- Coup de foudre
- Contact intempestif entre contact
- Claquage d'isolement
- Fausse manœuvre

b- Conséquence :

- Mêmes conséquences que le court – circuit

II-3-2 Surcharge :

Installation traversée par un courant supérieur à celui pour lequel a été construite.

a- Les causes :

- Court – circuit
- Appareil utilisé au-delà de sa puissance nominale (volontaire ou accidentelle)

b- conséquence :

- Même conséquences que le court – circuit.

II-3-3 Surtensions :

Passage de tension à une valeur supérieur à la valeur nominale. Les surtensions peuvent être d'origine externe ou interne.

1- Surtensions d'origine externe :

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

2- Surtension d'origine interne :

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

a- Cause :

- Manœuvre d'organe de coupure
- Arcs à la terre
- Défaillance du régulateur de tension
- Coups de foudre.
-

b- Conséquences :

- Contraintes sur les isolants amorçages (court-circuit)
- Surcharge

II-3-4 Déséquilibre :

Valeurs différentes entre les trois tensions et les trois courants.

a- Cause :

- Court-circuit
- Rupture des phases (mauvais fonctionnement di disjoncteur)
- Rupture des conducteurs sans court-circuit.

b- Conséquences :

- Echauffement
- Induction dans les lignes PTT proches.

II-4 Origines des défauts :

Ils existent de nombreux incidents qui affectent le fonctionnement d'un réseau électrique et peuvent avoir pour origine : [13]

II-4-1 Défauts d'origine externe :

Ce sont des événements indépendant du réseau, dont les causes sont soit d'origine mécanique, ce qui est le cas de la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne, et l'amorçage due aux contacts de branche, de brindille ou même des oiseaux avec les conducteurs . ou bien d'origine atmosphérique qui est le cas de la foudre qui s'abat sur une ligne aérienne ou d'un poste, on peut aussi inclure les amorçages qui résultent de dépôts conducteurs accumulés sur les isolateurs et les travaux de terrassement de terrains qui entraînent systématiquement des défauts permanents sur les câbles souterrains.

II-4-2 Défauts d'origine interne :

Ce sont des phénomènes propres au réseau, car ils prennent naissance dans les réseaux eux même sans être justifiés par aucune cause extérieure, c'est

par exemple, le cas des surtensions dus à des phénomènes de résonance , les surdensités qui peuvent être produites par un courant de surcharge, un court-circuit ou un défaut d'isolement et l'ouverture de circuit électrique en charge.

II-5 Caractères des défauts :

Les défauts peuvent être classés en plusieurs catégories suivant :

II-5-1 Durées des défauts:

- **Les défauts auto-extincteurs :**

Ils disparaissent spontanément, en des temps généralement très courts ($t=50\text{ms}$) sans provoquer de déclenchement sur le réseau.

- **Défauts fugitifs :**

Pour disparaître, ils nécessitent une coupure brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de secondes (0,25s à 0.30s).

- **Défauts semi- permanents :**

Pour disparaître, ils exigent une ou plusieurs coupures relativement longues du réseau d'alimentation, de l'ordre quelques dizaines de secondes, mais nécessitent aucune intervention au personnel d'exploitation pour la reprise du service.

- **Défauts permanents :**

Après avoir provoqué un déclenchement définitif nécessitent l'intervention du personnel d'exploitation pour la reprise du service.

- **Intermittents :**

Ils se répètent à des temps rapprochés, c'est le cas par exemple d'un court-circuit dû balancement de conducteur ou de branches d'arbres sous l'effet d'un vent violent. [8]

II-5-2 Formes de défauts :

Un court- circuit peut être :

- Monophasé, entre une phase et la terre ou la masse
- Biphasé, entre deux phases avec ou sans mise à la terre ;
- Triphasé, entre les trois phases. [7]

II-5-3 Courant de court-circuit :

L'intensité de courant de court-circuit est une caractéristique importante, elle détermine la sévérité de la contrainte appliquée au réseau et au matériel en défaut.

Elle dépend de la forme des courts-circuits et pour ceux impliquant la terre, du mode de mise à la terre des points neutres. [7]

II-6 Conséquences des défauts :

Les court circuits ont des effets néfastes sur :

II-6-1 Le fonctionnement des réseaux :

Les courts- circuits, surtout lorsqu'ils sont polyphasés et proches des centrales, entraînent une diminution du couple résistant des machines et donc une rupture de l'équilibre entre celui-ci et ce couple moteur, s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de la stabilité de groupe générateur et à des fonctionnements hors synchronisme préjudiciable aux matériels. [2]

II-6-2 La tenue du matériel :

Les courts – circuits provoquent des surdensités violentes qui amènent deux types de contraintes. Des contraintes thermiques dues au dégagement de chaleur par effet joule dans les conducteurs, et des contraintes mécanique consécutif à un court-circuit met en jeu un importants dégagement local

d'énergie pouvant provoquer des dégâts importants au matériel et même être dangereux pour le personnel travaillant à proximité.[2]

II-6-3 Les chutes de tension :

Les courants de court –circuit provoquent de brusques variations de tension, non seulement sur la ligne mauvaise, mais aussi sur les lignes adjacentes. [2]

II-6-4 Les explosions de disjoncteurs :

La valeur importante atteinte par les courants de court-circuit peut provoquer l'explosion de disjoncteurs, particulièrement s'ils sont d'un type ancien et sont placés sur les réseaux MT alimentés par des transformateurs HT/MT de grande puissance.[2]

II-6-5 Les circuits de télécommunications :

La présence d'un court – circuit dissymétrique entre une ou deux phases, ligne d'énergie et la terre entraine la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par les points neutres du réseau. Une tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant, apparaît sur les lignes de télécommunications qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie.[2]

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

II-6-6 La sécurité des personnes :

La mise sous tension accidentelle des masses, les élévations de potentiel liées à l'écoulement des courants de défaut 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 la mise à la terre des points neutres joue de ce fait un rôle essentiel.[2]

II-7 Intensité des courants de court-circuit

L'intensité I d'un courant de court-circuit d'un réseau monophasé se définit simplement par application de la loi d'ohm. [14]

$$I_{cc} = \frac{v_n}{z_{cc}} \quad (\text{II-1})$$

Avec

v_n : Tension simple de la source [KV]

z_{cc} : Impédance transitoire pendant le défaut [Ω]

L'intensité I_{cc} dans un réseau triphasé se définit comme suit :

$$I_{cc} = \frac{v_n}{\sqrt{3} Z_{cc}} \quad (\text{II-2})$$

II-7-1 Facteurs influençant la valeur de l'intensité d'un courant de court – circuit I_{cc} :

La valeur de I_{cc} en un point donné d'un réseau est fonction :

- De la nature des éléments constituant le réseau (alternateur, transformateur, lignes, câbles ...).
- De la structure de réseau (réseau en antenne, lignes en parallèle...).
- Du mode d'exploitation du réseau (neutre isolé ou neutre à la terre)
- De la résistance du défaut
- Du type de défaut (triphasé, biphasé ou monophasé). [7]

II-8 Utilisation des composantes symétriques pour le calcul de I_{cc} :

Hormis le défaut triphasé symétrique qui n'introduit aucun déséquilibre entre phases du réseau, les autres types de défaut ne nécessitent le recours aux composantes symétriques pour le calcul de courant de court - circuit. [13]

II-8-1 Principe de décomposition d'un système sinusoïdale :

Soit un système de trois grandeurs sinusoïdales de même pulsation mais d'amplitude et de phases quelconques, caractérisé par les nombres complexes

$\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$ On peut remplacer un système équilibré, direct, inverse et homopolaire. [13]

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_3 = \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_2 + \bar{V}_3 \end{cases} \quad (\text{II-3})$$

Avec a : un opérateur qui est égale à $e^{j \frac{2\pi}{3}} = \cos \frac{2\pi}{3} + j \sin \frac{2\pi}{3}$

Les valeurs $\bar{V}_d, \bar{V}_1, \bar{V}_0$ sont appelées composantes ou coordonnées symétriques du système réel.

Ces composantes symétriques de système sont définies par la transformation de FORTESCUE.

$$\begin{cases} \bar{V}_d = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + a \bar{V}_2 + a^2 \bar{V}_3] \\ \bar{V}_1 = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + a^2 \bar{V}_2 + \bar{V}_3] \\ \bar{V}_0 = \frac{1}{3} [\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3] \end{cases} \quad (\text{II-4})$$

II-9 Méthode de calcul de Icc :

Chacun des défauts :

- Triphasé avec ou sans mise à la terre
- Biphasé avec ou sans mise à la terre
- Monophasé

Est caractérisé par deux types d'équations ; le 1^{er} type met en jeu les tensions existant entre chaque phase et le sol ; le 2^{ème} type fait intervenir les courants de chaque phase. [14]

Pour étudier l'un de ces cas de défauts (sauf pour le défaut triphasé symétrique), il faut :

- Ecrire les équations caractérisant le défaut
- Ecrire les équations traduisant le principe de superposition :

$$\begin{cases} \bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d \\ 0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \\ 0 = \bar{V}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{J}_0 \end{cases} \quad (\text{II-5})$$

) Résoudre le système des équations ainsi obtenu par rapport à $\bar{J}_d, \bar{J}_i, \bar{J}_0, \bar{V}_d, \bar{V}_i, \bar{V}_0$ en tenant compte d'un phare, entre les courant de défauts à $\bar{J}_1, \bar{J}_2, \bar{J}_3$ et leurs composantes symétriques à $\bar{J}_d, \bar{J}_i, \bar{J}_0$ et d'autre part, entre les tensions $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$ et leurs composantes symétriques $\bar{V}_d, \bar{V}_i, \bar{V}_0$.

$$\begin{cases} \bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 \\ \bar{J}_2 = a^2 \bar{J}_d + a \bar{J}_i + \bar{J}_0 \\ \bar{J}_3 = a \bar{J}_d + a^2 \bar{J}_i + \bar{J}_0 \end{cases} \quad (\text{II-6})$$

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_3 = \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0 \end{cases} \quad (\text{II-7})$$

- Calculer les valeurs de $\bar{J}_1, \bar{J}_2, \bar{J}_3$ et $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$

II-10 Calcul des défauts :

II-10-1 Défaut monophasé-terre :

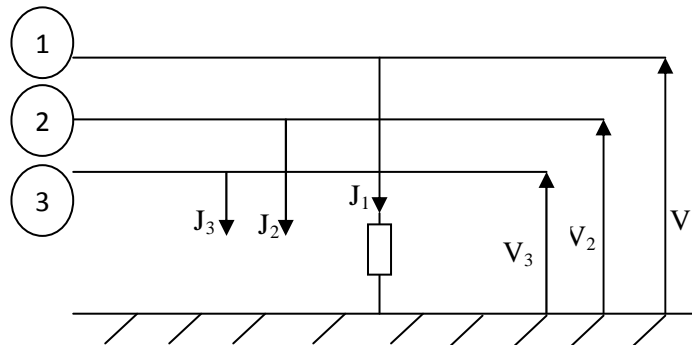


Fig II-1: court-circuit monophasé. [13]

➤ Equation de défaut :

$$\begin{cases} \bar{J}_2 = \bar{J}_3 = 0 \\ \bar{V}_1 = \bar{J}_1 \end{cases}$$

Sachant que les formules donnant les tensions et courants par les composants symétriques sont les suivantes :

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_2 = a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i + \bar{V}_0 \\ \bar{V}_3 = \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i + \bar{V}_0 \end{cases} \quad \text{(II-8)}$$

$$\begin{cases} \bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 \\ \bar{J}_2 = a^2 \bar{J}_d + a \bar{J}_i + \bar{J}_0 \\ \bar{J}_3 = a \bar{J}_d + a^2 \bar{J}_i + \bar{J}_0 \end{cases} \quad \text{(II-9)}$$

➤ **Principe de superposition :**

$$\begin{cases} \bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d \\ 0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \\ 0 = \bar{V}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{J}_0 \end{cases} \quad (\text{II-10})$$

La résolution de ces quatre systèmes d'équations nous donne les valeurs des courants et tension direct, inverse et homopolaire.

• **Les courants :**

$$\bar{E}_d = \bar{J}_i + \bar{J}_0 = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R}$$

• **Les tensions :**

$$\begin{aligned} \bar{V}_d &= \frac{\bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \bar{E} \\ \bar{V}_0 &= -\frac{\bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \bar{E}_d \\ \bar{V}_i &= -\frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \bar{E}_0 \end{aligned}$$

D'où les expressions des courants et tensions de phases.

• **Les courants :**

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

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_3 = 0$$

• **Les tensions :**

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

$$\bar{V}_d = \frac{(a^2 - a)\bar{Z}_i + (a^2 - 1)\bar{Z}_0 + 3a^2R}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \bar{E}$$

$$\bar{V}_d = \frac{(a - a^2)\bar{Z}_i + (a - 1)\bar{Z}_0 + 3a^2R}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0 + 3R} \bar{E}$$

Remarque :

Lors d'un défaut à la terre, le court-circuit s'accompagne d'un arc électrique qui se crée entre le point de défaut et la terre, cet arc introduit dans le circuit une résistance. Ce défaut est dit alors « défaut résistant » alors que pour des raisons de commodité (calcul des courants de défaut maximaux), cette résistance est souvent négligée ; un tel défaut est dit « défaut franc ».

Le calcul des défauts francs présente beaucoup de simplifications, mais pour leurs déterminations, on doit tenir compte de la tension avant défaut et l'impédance équivalente vue du point de défaut.

En négligeant la résistance de défaut $R=0$, nous aurons pour un court-circuit 1p-T les valeurs des courants et tension suivant : [9]

• **Les courants :**

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

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

• **Les tensions directes, inverses et homopolaires :**

$$\bar{V}_d = \frac{\bar{Z}_i + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \bar{E}$$

$$\bar{V}_i = -\frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \bar{E}_d$$

$$\bar{V}_0 = -\frac{\bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \bar{E}_0$$

- Les tensions de phases :

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

$$\bar{V}_2 = \frac{(a^2 - a)\bar{Z}_i + (a^2 - 1)\bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \bar{E}$$

$$\bar{V}_3 = \frac{(a - a^2)\bar{Z}_i + (a - 1)\bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \bar{E}$$

II-10-2 Défaits biphasé :

II-10-2-1 Défaut biphasé isolé :

Les défauts biphasés provoquent un déséquilibre dans les réseaux de distribution, leur étude fait appel aux composantes symétriques qui permet de préciser :

- La valeur du courant de défaut biphasé
- La valeur de la tension de chacune des phases par rapport au sol en un point particulier du réseau. [14]

Détermination de la valeur du courant de défaut biphasé :

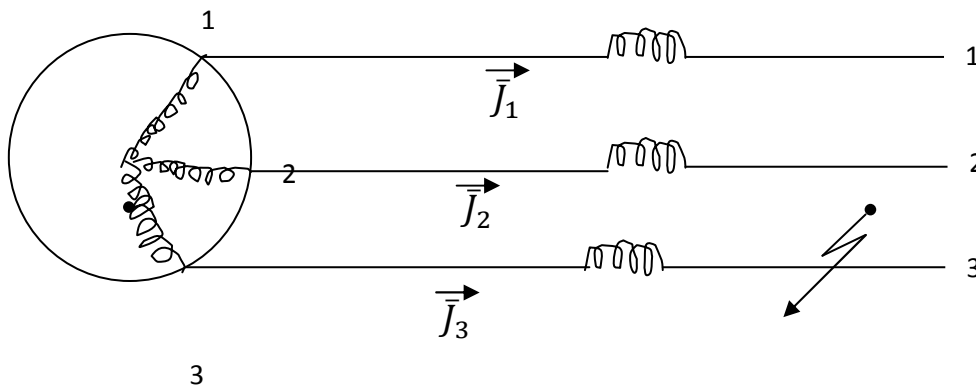


Fig II-2 : court-circuit biphasé isolé. [14]

Soient $\bar{J}_1, \bar{J}_2, \bar{J}_3$ les courants de défauts correspondant à chaque phase et $\bar{J}_d, \bar{J}_i, \bar{J}_0$ leurs composants symétriques.

On désigne par $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$ les tensions les tensions simples au lieu du défaut et $\bar{V}_d, \bar{V}_i, \bar{V}_0$ leurs composantes symétriques.

➤ **Equation du défaut :**

Phase 1 non touchée par le défaut donc $\bar{J}_1 = 0$

Les phases 2 et 3 sont en court-circuit donc $\bar{J}_2 = -\bar{J}_3$

Les phases 2 et 3 sont au même potentiel donc $\bar{V}_2 = \bar{V}_3$

➤ **Application du principe de superposition :**

L'alternateur fournit une f.e.m direct \bar{E}

$$\bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d * \bar{J}_d$$

\bar{Z}_d étant l'impédance directe totale de l'alternateur et de la partie de ligne comprise entre la source et le point P.

A l'endroit du défaut prend naissance une tension inverse.

$$0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i * \bar{J}_i$$

\bar{Z}_i étant l'impédance inverse de l'alternateur et de la partie de ligne comprise entre la source et le point P.

Le régime homopolaire n'existe pas puisque les phases en défauts sont isolées du sol :

$$\bar{J}_i = 0 \quad \bar{V}_0 = 0$$

Donc

$$\begin{cases} \bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d \dots \dots \dots (1) \\ 0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \dots \dots \dots (2) \\ \bar{Z}_0 = 0 \text{ et } \bar{J}_0 = 0 \dots \dots \dots (3) \end{cases}$$

➤ **Calcul des composants symétriques :**

$$\begin{cases} \bar{J}_1 = \bar{J}_d + \bar{J}_i \\ \bar{J}_2 = a^2 \bar{J}_d + a \bar{J}_i \\ \bar{J}_3 = a \bar{J}_d + a^2 \bar{J}_i \end{cases} \quad \bar{J}_1 = 0 \Rightarrow \bar{J}_d + \bar{J}_i \dots \dots \dots (4)$$

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

On a $\bar{V}_2 = \bar{V}_3 \Rightarrow a^2 \bar{V}_d + a \bar{V}_i = a \bar{V}_d + a^2 \bar{V}_i$

$\Rightarrow (a^2 - a) \bar{V}_d = (a^2 - a) \bar{V}_i$

D'où $\bar{V}_d = \bar{V}_i \dots \dots \dots (5)$

De l'équation 1 on peut écrire

$$\bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d$$

Car

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i$$

D'autre part :

$$0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i * \bar{J}_i \Rightarrow \bar{V}_i = -\bar{Z}_i * \bar{J}_i = \bar{Z}_i(-\bar{J}_i)$$

(4) $\Rightarrow \bar{J}_d = -\bar{J}_i$ donc $\bar{V}_i = -\bar{Z}_i * \bar{J}_d = \bar{V}_d$

Donc on peut écrire

$$\bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d = \bar{Z}_i \bar{J}_d + \bar{Z}_d \bar{J}_d = \bar{J}_d (\bar{Z}_i + \bar{Z}_d)$$

D'où

$$\bar{J}_d = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} = -\bar{J}_i \dots \dots (6)$$

De 5 on a

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{Z}_i \bar{J}_d = \bar{Z}_i \cdot \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{E} \cdot \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \dots \dots \dots (7)$$

Les courants dans les phases en défaut :

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

On sait que $\bar{J}_d = -\bar{J}_i$

Ce qui donne

$$\begin{aligned} \bar{J}_1 &= 0 \\ \bar{J}_2 &= -\bar{J}_3 = (a^2 - a) \bar{J}_d = \frac{(a^2 - a) \bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \end{aligned}$$

Si les impédances \bar{Z}_d , \bar{Z}_i ont le même argument, ce qui est vrai la plupart du temps, tout au moins en première approximation, la valeur efficace du courant de défaut est :

$$I_{cc} = \frac{\sqrt{3} \bar{E}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

Les tensions dans les phases en défaut :

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

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i \text{ or } \bar{V}_1 = 2\bar{V}_d$$

En tenant compte de

$$\bar{V}_1 = \frac{2\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \cdot \bar{E}$$

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

En tenant compte de (7)

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = (a^2 - a) \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \cdot \bar{E}$$

$$\text{Or } a^2 + a + 1 = 0 \Rightarrow -\frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \cdot \bar{E}$$

On retiendra que, en cas de défaut biphasé isolé

→ Il y a apparition de composant inverse des courants et des tensions

→ Si \bar{Z}_d et \bar{Z}_i sont égaux en module le courant de court-circuit dans les phases

en défaut, est égal à $\sqrt{\frac{3}{2}}$ fois le courants de court-circuit triphasé.

II-10-2-2 Défaut biphasé à la terre :

On suppose un défaut biphasé, terre entre les phases 2 et 3

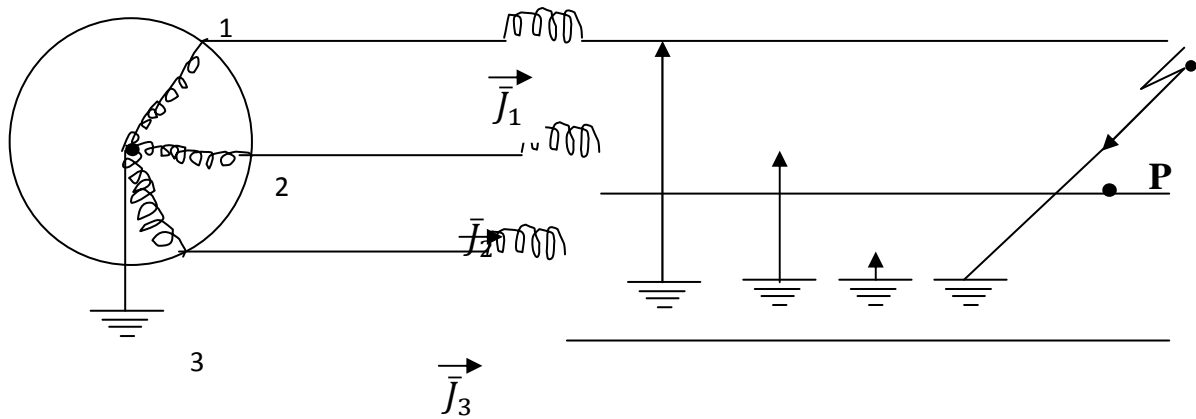


Fig II-3 : court – circuit biphasé à la terre. [14]

➤ **Equation de défaut :**

Phase 1 non touché par le défaut $\Rightarrow \bar{J}_1 = 0$

Les phases 2 et 3 sont à la terre $\Rightarrow V_2 = V_3 = 0$

➤ **Application du principe de superposition :**

L'alternateur fournit une f.e.m direct E .

Soit Z_d et Z_i les impédances directe et inverse de l'alternateur et de la ligne comprise entre la source et le point du défaut P. Est l'impédance homopolaire de l'ensemble alternateur et tronçon de ligne en défaut. Elle répond du circuit de retour sol-réseau. [7]

La loi d'ohm permet d'écrire.

$$\begin{cases} \bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d \\ 0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \\ 0 = \bar{V}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{J}_0 \end{cases}$$

Calcul des composantes symétriques

$$\bar{J}_i = 0 \Rightarrow \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 = 0$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0 \Rightarrow a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i + \bar{V}_0 = a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i + \bar{V}_0$$

$$\Rightarrow (a^2 - a)\bar{V}_d = (a^2 - a)\bar{V}_i$$

$$\Rightarrow \bar{V}_d = \bar{V}_i$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0 \Rightarrow a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i + \bar{V}_0 = a^2\bar{V}_d + a\bar{V}_i + \bar{V}_0 = 0$$

$$\text{Or } a^2 + a + 1 = 0 \Rightarrow a^2 + a = -1$$

$$\Rightarrow 2\bar{V}_0 = \bar{V}_d + \bar{V}_i \Rightarrow \bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0$$

En appliquant la superposition on obtient

$$\begin{cases} \bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d \Rightarrow \bar{J}_d = \frac{\bar{E} - \bar{V}_d}{-\bar{Z}_d} \\ 0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \Rightarrow \bar{J}_i = \frac{\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} \\ 0 = \bar{V}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{J}_0 \Rightarrow \bar{J}_0 = \frac{\bar{V}_0}{\bar{Z}_0} \end{cases}$$

$$\text{On sait que : } \bar{J}_d + \bar{J}_i + \bar{J}_0 = 0 \Rightarrow \frac{\bar{E} - \bar{V}_d}{-\bar{Z}_d} - \frac{\bar{V}_i}{\bar{Z}_i} - \frac{\bar{V}_0}{\bar{Z}_0} = 0$$

On obtient

$$\begin{cases} \bar{J}_d = \frac{(\bar{Z}_i + \bar{Z}_0)\bar{E}}{\bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_i} \\ \bar{J}_i = -\frac{-\bar{Z}_0\bar{E}}{\bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_i} \\ \bar{J}_0 = -\frac{-\bar{Z}_i\bar{E}}{\bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_i} \end{cases}$$

Courant de défaut :

Soit que :

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

$$\begin{cases} \bar{J}_2 = \frac{\bar{Z}_i(a^2 - a) + \bar{Z}_0(a^2 - a)}{\bar{Z}_i\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_i} \bar{E} \\ \bar{J}_3 = \frac{\bar{Z}_i(a - 1) + \bar{Z}_0(a - a^2)}{\bar{Z}_i\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_i} \bar{E} \end{cases}$$

- **Calcul des tensions au lieu du défaut :**

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_d + \bar{V}_i + \bar{V}_0 = 3\bar{V}_d \text{ car } \bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0$$

$$\bar{V}_i = 3 \frac{\bar{Z}_i\bar{Z}_0}{\bar{Z}_i\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_0 + \bar{Z}_d\bar{Z}_i} \bar{E}$$

II-10-3 Défaut triphasé :

Court – circuit triphasé entre conducteur de phase :

La valeur du courant de court – circuit triphasé en un point du réseau ;

$$I_{cc} = \frac{V}{Z_{cc} \sqrt{3}}$$

V : Tension entre phase en un point avant le défaut.

Z_{cc} : impédance équivalente du réseau en amont vue du point de défaut.

Ce calcul est donc simple en principe :

Sa complexité pratique résulte de la difficulté à calculer Z_{cc} , impédance équivalente à toutes les impédances unitaires en série et en parallèle des

composants au réseau situés en amont du défaut. Ces impédances sont elles mêmes la somme quadratique de réactances et résistances.

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Une simplification importante consiste en particulier à connaître la puissance de court-circuit S_{cc} au point du raccordement du réseau de distributeur ; on en déduit l'impédance Z_a équivalente en amont de ce point. [7]

$$Z_a = \frac{V^2}{S_{cc}} \quad ; \quad I_{cc} = \frac{V}{Z_a \sqrt{3}}$$

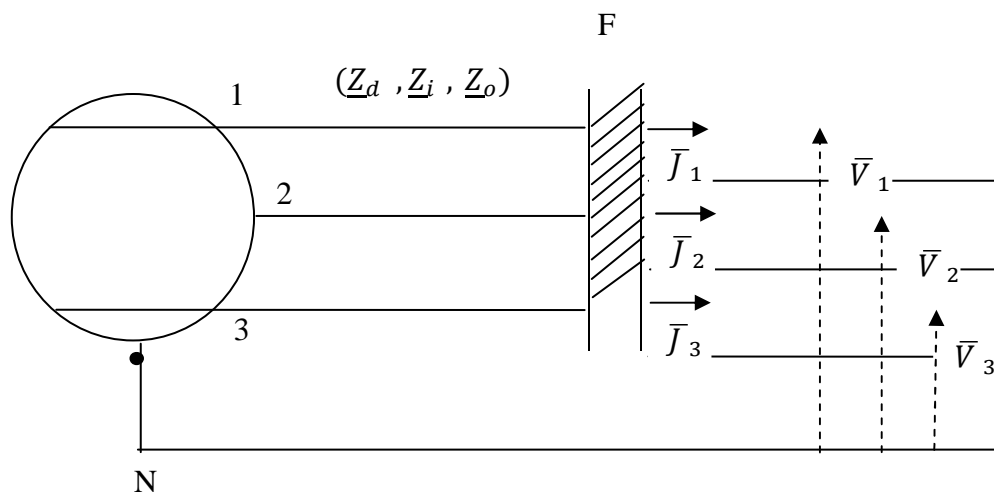
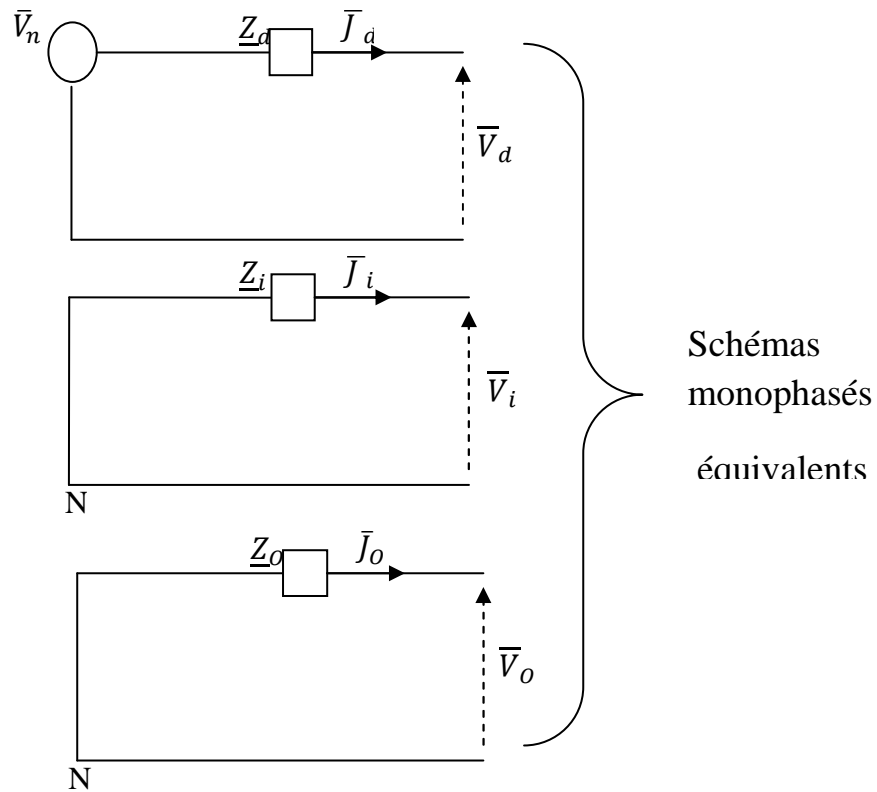


Fig II-4 : Défaut triphasé

N : conducteur neutre

F : Frontière de la zone dissymétriq

En considérant les schémas monophasés équivalents dans chacun des trois systèmes direct, inverse et homopolaire, on peut écrire :



On déduit :

Donc :

$$\begin{cases} \bar{E} = \bar{V}_d + \bar{Z}_d \cdot \bar{J}_d \\ 0 = \bar{V}_i + \bar{Z}_i \cdot \bar{J}_i \\ 0 = \bar{V}_o + \bar{Z}_o \cdot \bar{J}_o \end{cases}$$

Les grandeurs caractéristiques du défaut :

- Les relations caractérisant le défaut sont les suivantes :

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$$

- Pour calculer les grandeurs symétriques à l'extérieur de la zone contenant le défaut, on écrit :

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

On déduit :

$$\bar{V}_d = \bar{V}_i = \bar{V}_0 = 0$$

Donc :

$$\bar{I}_o = \bar{I}_i = 0$$

$$\bar{I}_o = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d}$$

Ce qui donne :

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

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

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

En conclusion, on retiendra que, en cas de défaut triphasé :

- Les tensions au point de défaut sont nulles
- Les courants constituent un système triphasé symétrique direct.
- Le courant de court-circuit au point de défaut est donné par : $I_{cc} = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_d}$

Puissance de court-circuit :

On utilise couramment la notion de puissance de court-circuit triphasé en un point du réseau, notée P_{cc} ; elle a pour expression :

$$P_{cc} = 3 E I_{cc} = \frac{E^2}{Z_d}$$

Ou encore :

$$P_{cc} = \frac{V^2}{\bar{Z}_d}$$

II-11 Méthode des valeurs réduites pour le calcul du courant de court-circuit :

II-11-1 Définition :

La grandeur réduite d'une grandeur physique donnée est le rapport de cette dernière par une autre grandeur physique de même nature, qui a été choisie arbitrairement.

On choisie généralement comme grandeur de base S_b et U_b et on réduit alors :

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

Les grandeurs réduites des différents éléments du réseau sont alors :[2]

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

II-11-2 Réactance des éléments du réseau

II-11-2-1 Impédance ramené un seul niveau de tension U_x

Pour calculer le courant de court-circuit à un endroit bien déterminé du réseau, il est indispensable de ramener toutes les impédances à une certaine tension de référence U_x pour pouvoir utiliser les notions impédances séries et parallèle.[2]

Pour cela on utilise : $\bar{U} = U \left(\frac{U_x}{U} \right)$; $\bar{Z} = Z \left(\frac{U_x}{U} \right)$; $\bar{I} = I \left(\frac{U_x}{U} \right)$

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

II-11-2-2 Réactance réduites des éléments constituant le réseau

A- Composantes direct et inverse

a- Ligne :

$$X_i^* = X \cdot L \cdot \frac{S_b}{U_b};$$

Avec :

X : réaction de ligne

L : longueur de la ligne.

S_b, U_b : Puissance et tension de base.

b- Alternateur

$$X = X_d^1 \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_n^2}{U_b^2}$$

Avec X_d'' : réactance subtransitoire

c- Transformateur à trois enroulements.

Le calcul se fait en deux étapes :

- Première étape :

$$X_{12}^* = U_{cc}^{12} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

$$X_{23}'' = U_{cc}^{12} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

$$X_{31}'' = U_{cc}^{31} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{U_{1n}^2}{U_b^2}$$

- **Deuxième étape :**

$$X_1^* = \frac{1}{2} (X_{12}^* + X_{31}^* + X_{23}^*)$$

$$X_2^* = \frac{1}{2} (X_{12}^* + X_{23}^* + X_{31}^*)$$

$$X_3^* = \frac{1}{2} (X_{23}^* + X_{31}^* + X_{12}^*)$$

Remarque : toutes les réactances sont ramenées au primaire.

a- Réseaux amont :

$$X_a^* = \frac{U^2}{P_{cc}} \cdot \frac{1}{X_b}$$

Avec : P_{cc} : puissance de court circuit

U : Tension entre phases.

B-Composantes homopolaire

On utilise les valeurs pratiques, à savoir, la réactance homopolaire dépend :

- Du mode de liaison couplage des enroulements
- Du mode de couplage des enroulements
- De la nature du circuit magnétique.

a) **Ligne :**

$$X_o^* = X_d^*$$

b) **Transformateur :**

$$X_o^* = X_d^* \text{ (y/y) flux libre}$$

$$X_o^* = 10 \times X_d^* \text{ (y/y) flux foré}$$

$$X_o^* = X_d^* (y/\Delta/y)$$

Méthode de calcul

- On établit le schéma équivalent au réseau en utilisant les réactances des différents éléments
- On ramène toutes les réactances à la tension au point de défaut.
- On simplifie le schéma :
 - En appliquant les transformateurs Δ -Y et Y- Δ
 - En associant les réactances série parallèle.

Le courant de court- circuit correspondant est évidemment égale à :

$$I_{cc} = \frac{\bar{U}}{X \cdot \sqrt{3}}$$

Généralement, on prend $\bar{U} = 1,1 \bar{U}_n$ du fait que la tension de court circuit peut être supérieure à la tension nominale.

Finalement on aura : $I_{cc} = \bar{I}_{cc} I_b \left(\frac{U_n}{U_x} \right)$.

II-12 Conclusion :

Pour que cela permette de bien dimensionner les protections, en nous renseignant sur l'ordre des grandeurs des différents types de court – circuit, dans ce chapitre nous concluons que l'étude mathématique prévue à cet effet est très importante.

Car si le fonctionnement des réseaux est opérationnel, le tenu du matériel et surtout la sécurité des personnes dépend de la bonne gestion des courants de court – circuit, qui est considérés comme des incidents qu'il faut éliminer dans un laps de temps court, pour éviter les effets néfastes sur les réseaux.

L'élimination des défauts ne peut être obtenue que par les appareils de protection qui ont un rôle primordiale dont la fonction est la protection des réseaux de distribution. Ces appareils de protection qui doivent être réglés de façon judicieuse feront l'objet du prochain chapitre.

Chapitre III

Protection d'un départ moyenne tension

III-1 Introduction :

Pour des raisons techniques et économiques évidentes, il n'est possible de construire des réseaux exempts de défauts de fonctionnement, ils sont en particulier, exposés aux agressions naturelles comme la foudre.

Les réseaux sont donc affectés de perturbations qui peuvent mettre en cause la pérennité du matériel et la qualité du service et dont il faut chercher à minimiser les conséquences.

Tout défaut doit être identifié immédiatement et l'ouvrage affecté est séparé du réseau sans délai : c'est l'objet des protections des réseaux.

III-2 Généralités :

III-2-1 Définition d'un système de protection :

C'est un ensemble de dispositifs plus ou moins complexe, qui se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants : fig (III-1)

- Capteur de mesure courant et tension fournissant les informations de mesure nécessaire à la détection des défauts.
- Relais de protection, chargé de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses et leur commande par le circuit de déclenchement.
- Organe de coupure dans leur fonction d'élimination de défaut : disjoncteur, interrupteur, fusible. [7]

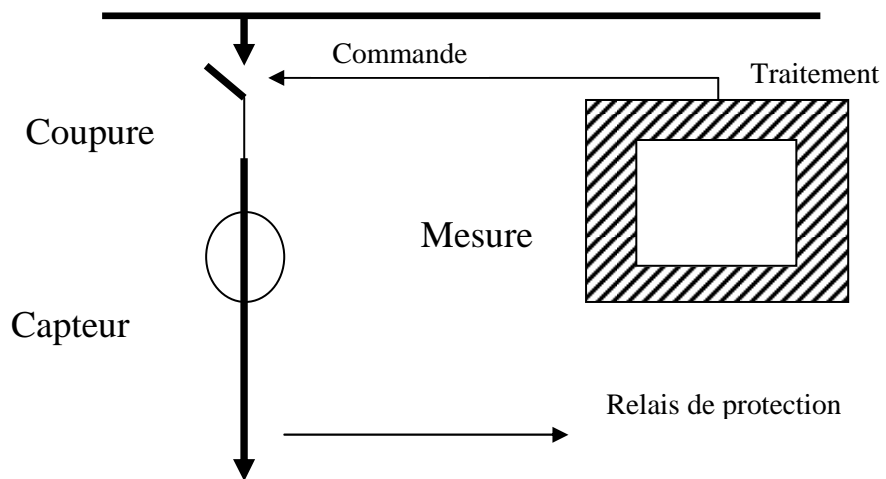


Fig III-1 : Chaine de protection

III-2-2 Rôle d'un système de protection :

Le système de protection électrique à pour but de déceler l'existence des défauts et de mettre automatiquement hors tension l'élément ou la portion du réseau défectueux [8]

III-2-3 Plan de protection :

A chaque fois que le défaut prend du temps et de l'espace par sa propagation vers les points sensibles du réseau, il engendre un désagrément et des conséquences néfastes. Il y a lieu de les limiter en procédant à l'isolement par degré d'importance et de priorité : dérivation, départ, poste, source, ligne HT, alternateur.

On utilise au moins trois protections qui surveillent le même défaut pour un transformateur HT/MT et les lignes HT, qui sont :

- Protection principale

- Protection réserve
- Protection secours.[9]

III-2-4 Qualités d'un système de protection :

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

- **Fiabilité** : seuls les appareils de coupures encadrant le défaut doivent s'ouvrir.
- **Rapidité d'action** : pour éviter l'augmentation de la zone perturbée.
- **Sensibilité** : pour faciliter les mises en oeuvre de la maintenance.
- **Consommation** : doit avoir une consommation réduite [8]

III-2-5 Constitution d'un dispositif de protection :

Un système de protection est constitué :

- D'un organe de mesure ou d'une chaîne de mesure
- D'un organe de comparaison
- D'un organe d'élaboration d'ordre des manœuvres
- D'un organe de signalisation et d'exécution d'ordre des manœuvres. [7]

III-3 Régime de neutre :

Dans un réseau, le régime de neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement ou de mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre.

Le choix du régime de neutre doit tenir compte de :

- La sécurité du personnel et des équipements
- La volonté de limiter les surtensions

On distingue cinq régimes de neutre qui sont :

- Neutre isolé, Z_n est infini
- Neutre relié à la terre par une résistance
- Neutre relié à la terre par une réactance
- Neutre relié à la terre par une impédance
- Neutre relié directement à la terre ($Z=0$)

En Algérie, on adopte le cas de mise du neutre directement à la terre. [3]

III-3-1 Critère de choix du régime de neutre :

Le choix du régime de neutre s'analyse en fonction des critères suivants :

- Niveau de tension, car le matériel doit avoir un niveau d'isolement compatible avec les surtensions engendrées lors des défauts monophasés.
- Coordination des isolements, les courants de défauts à la terre des ouvrages, des montées en tension locales compatibles avec les isolements des matériels a basse et moyenne tension.
- Réglementation et législation concernant les élévations de tension de masse, la sensibilité de détection [10]

III-3-2 Les différents régimes de neutre :

1- Neutre mis directement à la terre :

Dans ce cas de réseau, un défaut entre la phase et la terre est un court-circuit monophasé, ce qui provoque un courant très élevé. Cette mise à la terre est idéale pour l'écoulement des courants vers la terre.

L'inconvénient de cette mise à la terre est le non continuité de service (déclenchement au premier défaut). Fig (III-2)

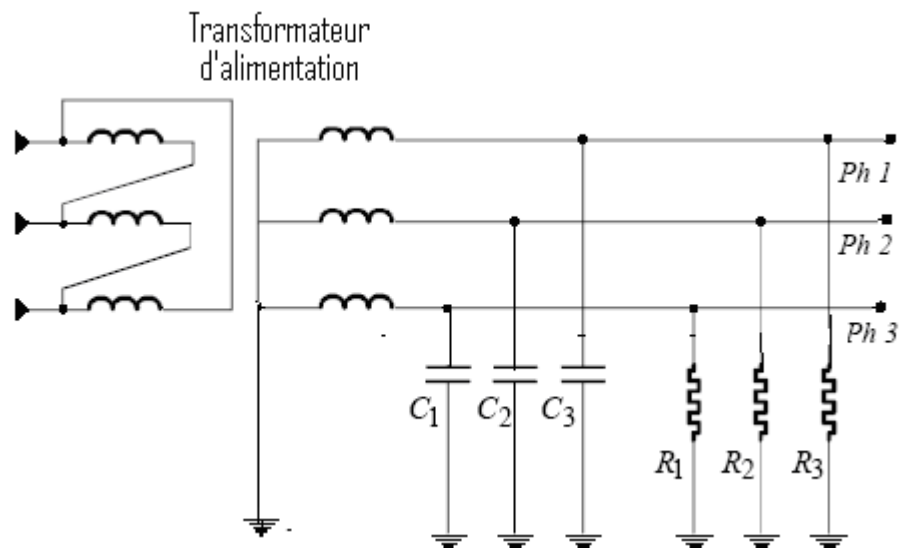


Fig III-2 : Neutre mis directement à la terre. [13]

2- Neutre mis à la terre par une résistance :

Dans ce type de réseau, une impédance Z_n résistive limite le courant de défaut à la terre, tout en permettant un bon écoulement des surtensions. Les protections doivent intervenir automatiquement pour éliminer le premier défaut.

Cette mise à la terre fig. (III-3) a ses avantages et ses inconvénients qui sont :

a) Avantages :

- Ce schéma est un bon compromis entre un courant de défaut faible et un bon amortissement de faibles surtensions.
- Les protections sont assez simples et sélectives.

b) Inconvénients :

- Pas de continuité de service. En cas de défaut à la terre, celui-ci doit être éliminé aussitôt, avant l'apparition d'un deuxième défaut.

- Le coût de la résistance de mise à la terre croît avec la tension. [3]

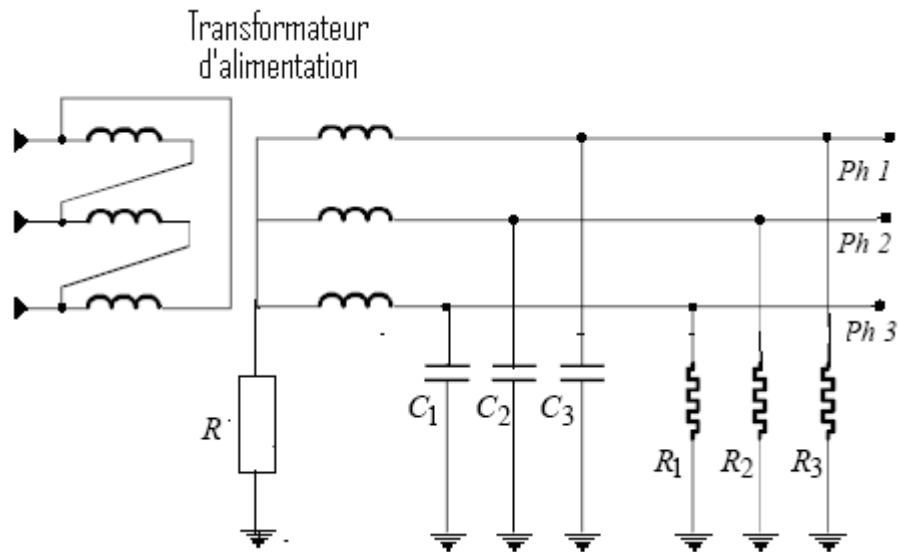


Fig III-3 : Neutre mis à la terre à travers une résistance. [13]

3- Neutre isolé :

Dans ce type de réseau, le défaut phase/ terre ne provoque qu'un faible courant par l'intermédiaire des capacités phase / terre des phases saines. Ce qui donne à cette solution l'avantage essentiel de maintenir la continuité de service, mais ceci entraîne des conséquences.

Le défaut d'isolement s'il n'est pas éliminé, il doit être obligatoirement signalé par un contrôleur permanent d'isolement.

La recherche ultérieure du défaut exige un appareillage d'autant plus complexe, pour permettre une identification rapide du départ défectueux et un service d'entretien qualifié pour l'exploiter.

Si le premier défaut n'est pas éliminé, un deuxième défaut survenant sur une autre phase va provoquer un véritable court-circuit biphasé par la terre fig (III-4)

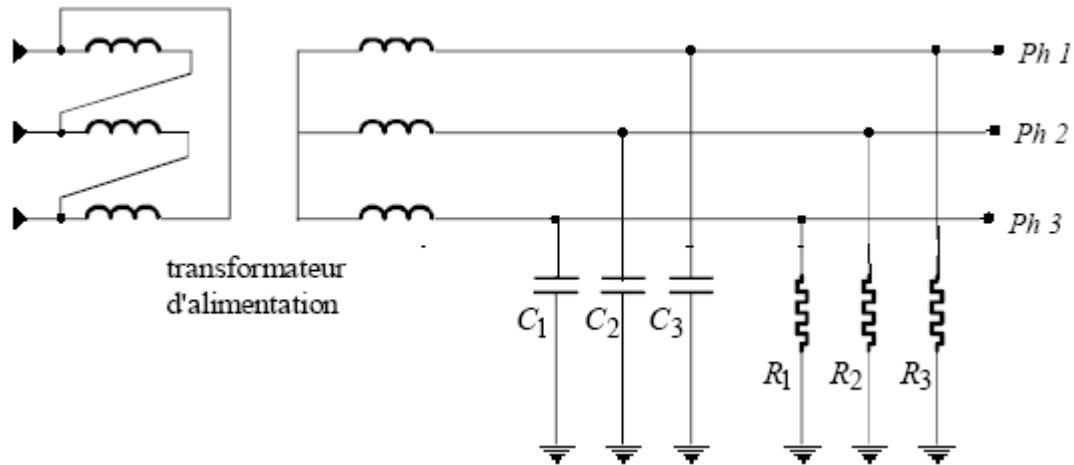


Fig III-4 : Neutre isolé. [13]

a) Avantages :

- La continuité de service
- Le courant de défaut est très faible

b) Inconvénients :

- La non élimination des surtensions par écoulement à la terre est un handicap majeur si elles sont élevées.
- En cas, de mise à la terre d'une phase, les autres se trouvent portées à la tension composée (U), d'où un coût d'isolement d'autant plus élevés que la tension du réseau est haut.
- La nécessité d'avoir un service d'entretien équipé d'un matériel adéquat pour la recherche rapide au premier défaut d'isolement.

4- Neutre mis à la terre par une réactance :

Pour des tensions plus de 20kV, le coût de la résistance de limitation s'accroît, alors on préfère utiliser une réactance pour réduire les risques de surtensions accrues par la réactance, le courant de défaut limité doit être supérieur de 10 à 20% du courant de court-circuit triphasé.fig (III-5)

Ce type de mise à la terre, on l'applique dans les réseaux de répartition HT (36 à 150kV). [3]

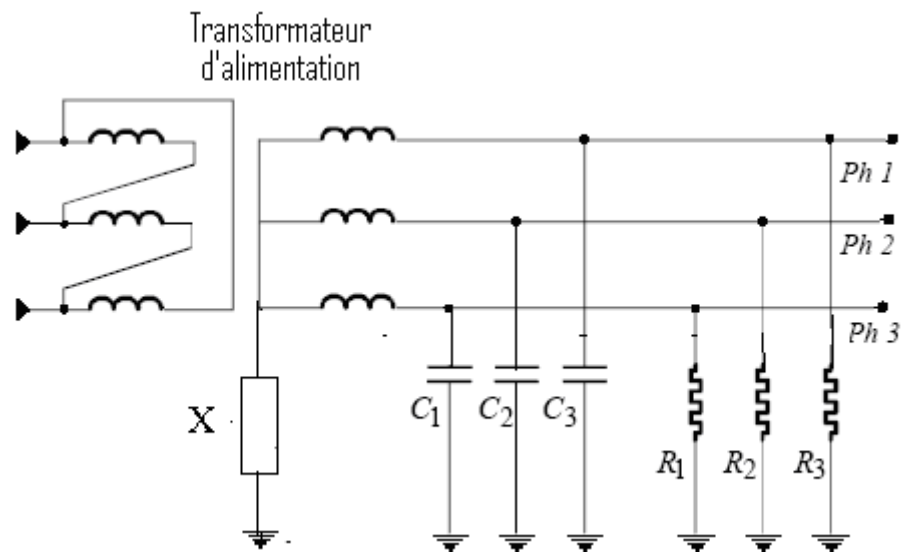


Fig III-5 : Neutre mis à la terre à travers une réactance. [13]

III-4 Appareillage de protection contre les surtensions :

Les dispositifs de protection des réseaux électriques contre les surtensions sont généralement de deux types : l'éclateur et le parafoudre.

III-4-1 Les parafoudres :

Les parafoudres sont des dispositifs de protection destinés à protéger les appareils et les installations contre les coups de foudre directs ou indirects.

a) Le parafoudre moyen tension :

Il est constitué de plusieurs résistances non linéaires au carbure de Silicium associées en série avec un ou plusieurs éclateurs. L'ensemble est rempli d'un gaz sec (Azote).

Ce type parafoudre à expulsion.

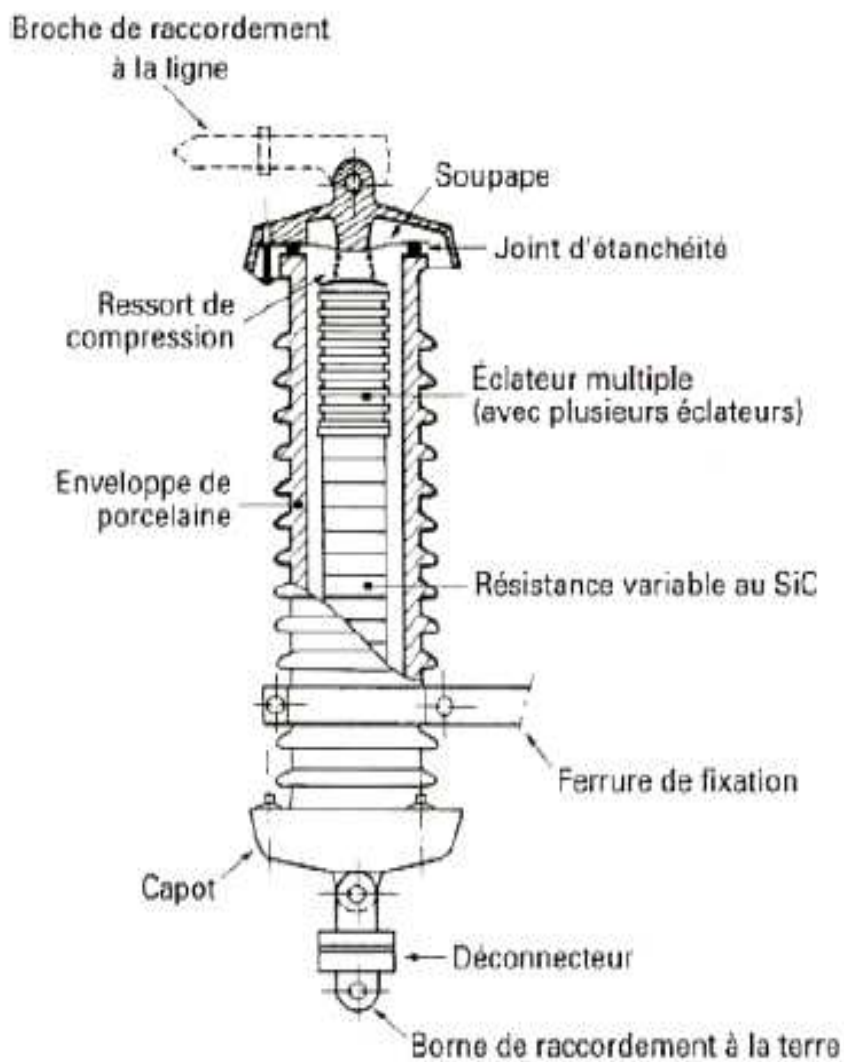


Fig III-6: Schéma constitutif d'un parafoudre HTA au carbure de silicium et à éclateurs.

b) Le parafoudre haut tension :

Il comporte en série des éclateurs et une résistance (R), sa valeur décroît quand la tension augmente. Les condensateurs assurant l'équilibre de la tension entre les éclateurs.

Ce dispositif est assez coûteux, il est utilisé en THT [2]

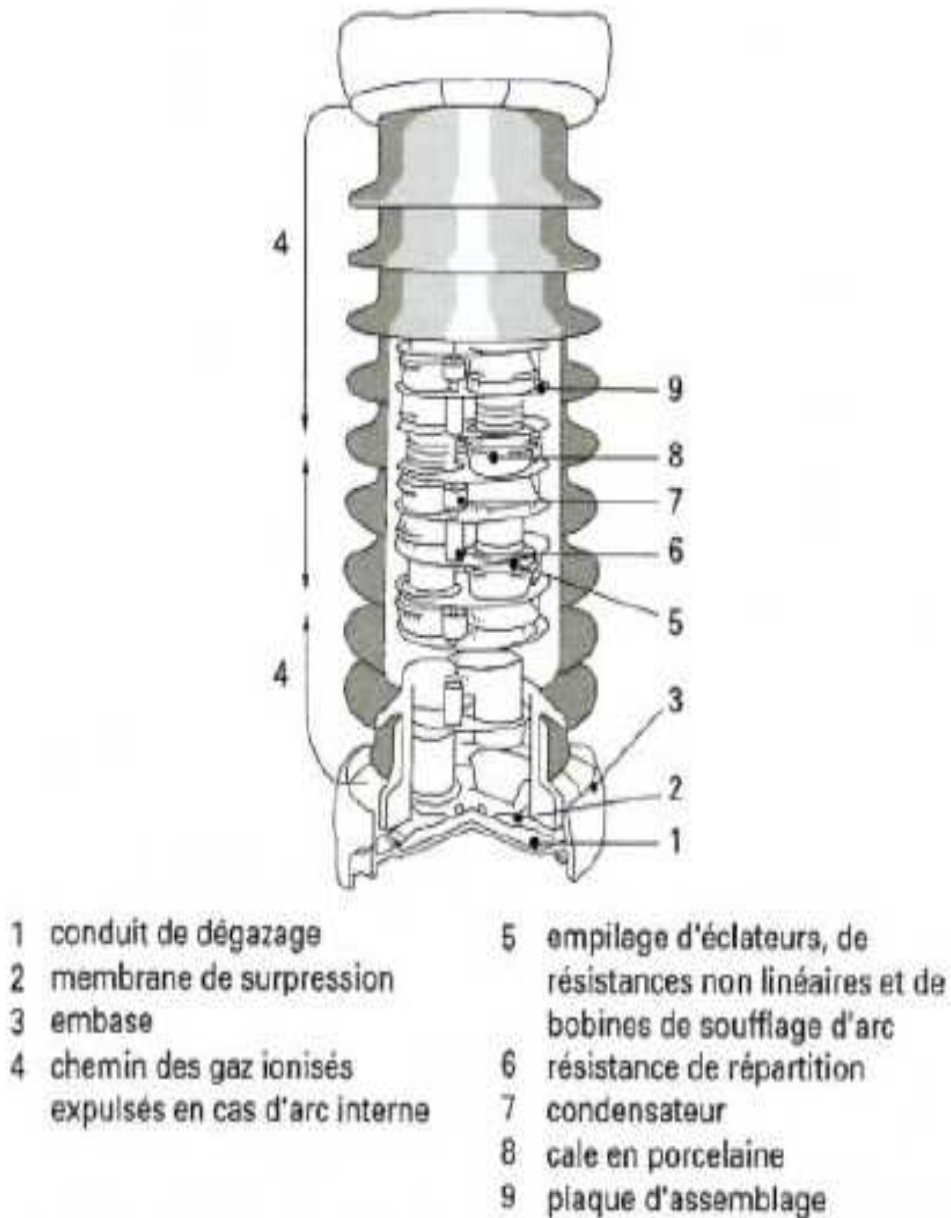


Fig III.7 : Schéma constitutif d'un parafoudre HTB au carbure de silicium et à éclateurs.

III-4-2 Les éclateurs :

Les éclateurs constituent un moyen de protection contre les surtensions, utilisés depuis longtemps en raison de leurs simplicités. On distingue deux types d'éclateurs.

a) Eclateur a cornes :

Il est constitué de deux électrodes, relié l'une au conducteur de ligne et l'autre à la terre. Ces deux électrodes sont montées sur une chaîne d'isolateurs rigide. La distance entre les deux électrodes est réglée de manière à obtenir un amorçage pour une certaine valeur de la tension appliquée afin d'empêcher certains amorçages intempestifs.

Les éclateurs utilisés en MT comportent fréquemment entre leurs électrodes une tige anti-oiseaux. (fig II-8)

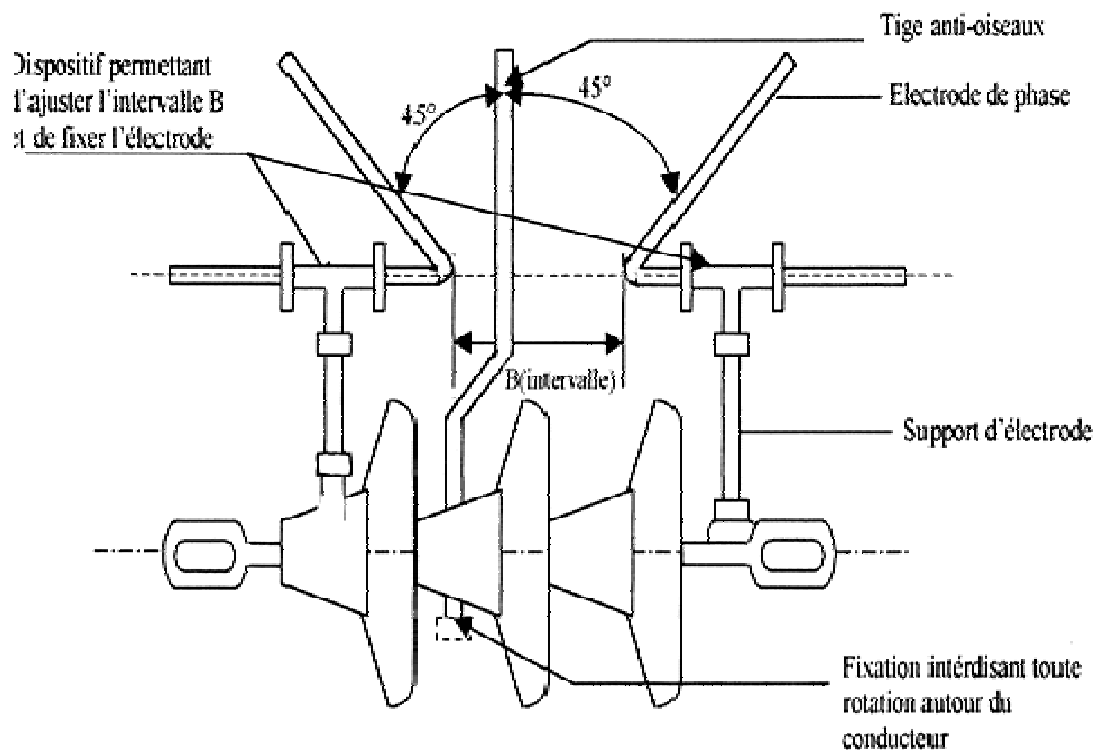


Fig III.8 : Eclateur à cornes

b) Eclateur à tige :

Les éclateurs à tiges sont utilisés à l'intérieur du poste, sur les réseaux à neutre mis à la terre ou le courant de défaut franc à la terre peut atteindre 300A (fig II-9) [2]

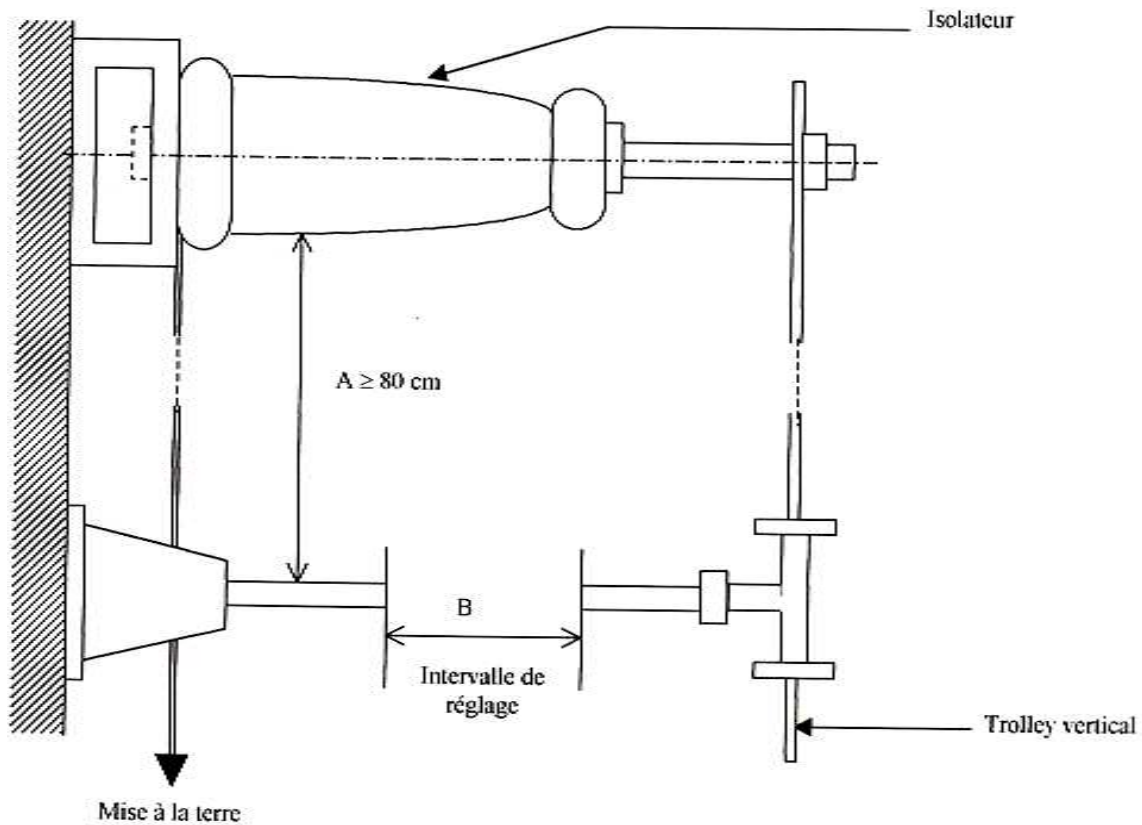


Fig II.9 : Eclateur à tige [2]

III-5 Appareillage de protection contre les surintensités :

III-5-1 Sectionneurs :

Les sectionneurs permettent de séparer et d'isoler une partie du réseau pour travailler sur celle-ci, et permettent aussi d'obtenir une séparation visible.

Les sectionneurs contrairement aux autres appareils ne sont dotés d'aucun pouvoir de coupure, l'ouverture à vide.

III-5-1-1 Sectionneurs de mise à la terre :

Ce sont des interrupteurs de sécurité qui isolent un circuit et qui , grâce à leur mise à la terre, empêchent l'apparition de toute tension sur une ligne pendant les réparations.

III-5-1-2 Sectionneurs à deux colonnes :

Parmi les plus simples et abondants des appareils constituant le réseau, ce sont des appareils à commande rotative. Ils ont l'inconvénient d'avoir un encombrement important, les bras engagent la distance entre phases en position d'ouverture.

III-5-1-3 Sectionneurs pantographe :

Ils permettent de raccorder directement des conducteurs situés à des niveaux différents, et ils sont moins encombrants.

III-5-1-4 Interrupteurs- sectionneurs :

Ce sont des sectionneurs auxquels on a associé un disjoncteur permettant la coupure des courants faibles. [3]

III-5-2 Disjoncteurs:

Le disjoncteur est un appareil de protection dont le rôle est d'établir ou d'interrompre des courants normaux ou anormaux dans le fonctionnement des réseaux.

Il peut être utilisé comme un gros interrupteur commandé, soit par un bouton poussoir ou télécommandé.

Le disjoncteur est destiné à la protection des réseaux de distribution et des postes de transformation. Il est doté d'un pouvoir de coupure important, il peut interrompre des courants de courts-circuits de 4 à 5 fois le courant nominal sous une tension élevée, en quelques millièmes de seconde (figure III-10)

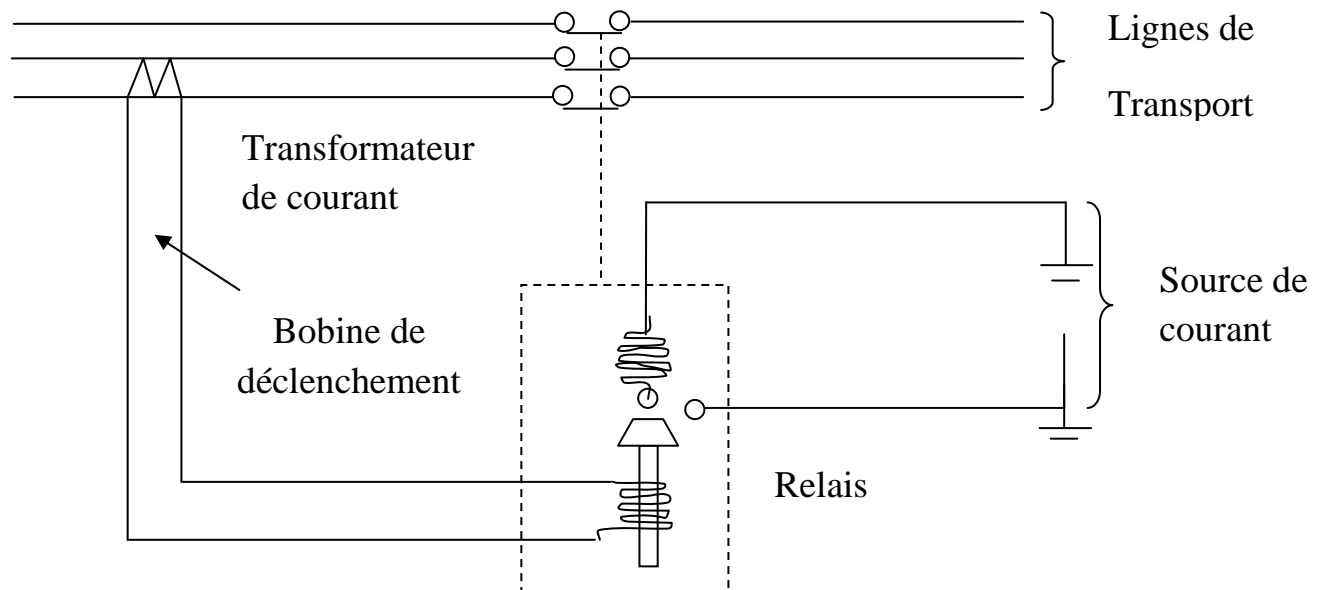


Fig III-10 commande d'ouverture d'un disjoncteur

III-5-2-1 les différents types du disjoncteur :

III-5-2-1-1 Disjoncteurs à l'huile :

Les premiers disjoncteurs à haute tension furent des disjoncteurs à gros volume d'huile. Dans un disjoncteur à l'huile, l'arc décompose cette dernière en formant des gaz inflammables constitués principalement de 70% d'hydrogène et de 20% d'acétylène, en libérant des particules de carbone .[3]

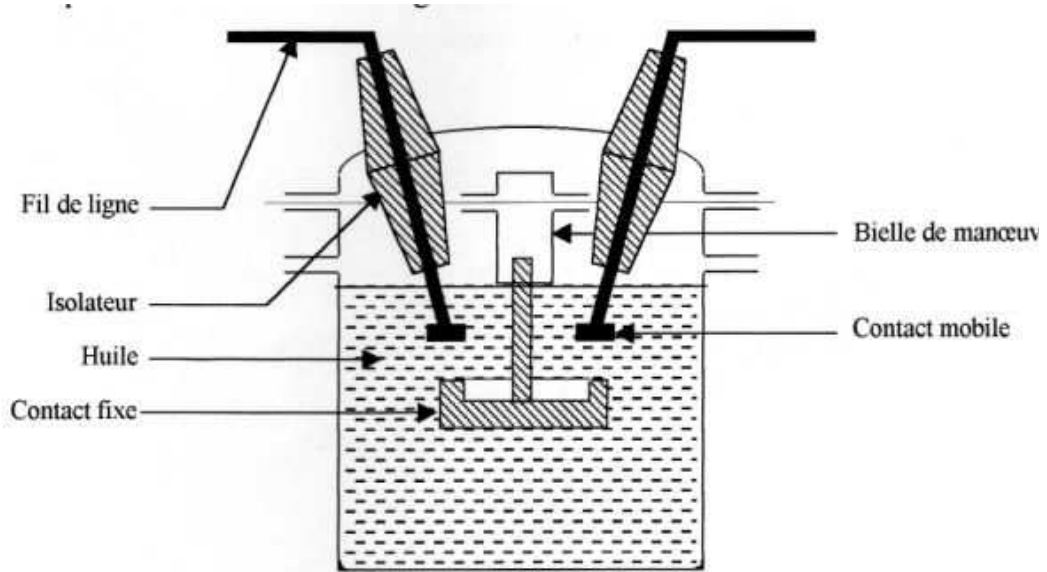


Fig III-11 : Constitution d'un disjoncteur à huile [13]

III-5-2-1-2) Disjoncteurs à gros volume d'huile :

Dans ce type de disjoncteur, les contacts sont placés dans une grande cuve métallique où pénètrent deux traversées isolantes.

Les contacts au bas des traversés isolantes sont reliés par une tête conductrice portée par une tige en bois ou en matériau composite, qui dans les modèles courants, s'abaisse par la gravité suite à la séparation des contacts sous l'effet d'un ressort, ainsi ouvrant le disjoncteur.

Au dessus du niveau de l'huile, un certain volume d'air (le matelas d'air) permet aux bulles gazeuses qui prennent naissance autour des deux arcs de se développer tout en limitant à la fois leur expansion dans la cuve.

Les disjoncteurs à gros volume d'huile sont peu utilisés à cause des inconvénients qu'ils présentent et qui sont :

- Dimensions et masses importantes
- Dangers d'incendies
- Défaillance d'isollements dus aux traversées.
- Fortes réactions au sol. [3]

III-5-2-1-3) Disjoncteur faible volume d'huile :

Ils ont remplacé les disjoncteurs à gros volume d'huile qui provoquent de grands dangers. Ils sont fabriqués de telle sorte à éliminer l'huile comme isolant par la réduction de la quantité d'huile utilisée au point qu'il n'y aurait plus de risques. Cependant, leurs qualités extinctrices d'arc ont été utilisées dans des chambres de coupure spéciales, étanches à l'huile et à air.

Les contacts sont placés dans une enveloppe cylindrique isolante munis à chaque extrémité de prises de courant et posés sur un support isolant. L'arc est contenu efficacement dans un pot de coupure dont le rôle est de réduire la durée de l'arc.

Son énergie et celle transmise au piston de l'huile. L'arc s'éteint par un flux axial d'huile, lorsque le disjoncteur interrompt de faibles courants. [3]

III-5-2-1-4) Disjoncteurs à air comprimé (DAC) :

Le DAC à HT occupe un domaine très vaste, en tension nominale il s'étend, de 170KV jusqu'à 800kV actuellement, et avec un pouvoir de coupure de 20kA jusqu'à 100KA.

Le DAC est constitué des parties suivantes : fig (III-12)

- Un contact mobile fixé sur une tige.
- Un contact fixe
- Une chambre à air comprimé
- Un orifice par lequel sort l'air.
- Une résistance pour absorber les fortes tensions.

Son principe de fonctionnement :

Lorsqu'un défaut apparaît, le DAC se déclenche et la tige est poussée vers le haut, ce qui sépare les deux contacts fixe et mobile, et ouvre l'orifice en laissant échapper l'air qui est soufflé entre les surfaces de contacts et qui permet l'extinction de l'arc électrique. La résistance sert à amortir les surtensions lorsque le disjoncteur s'ouvre. [3]

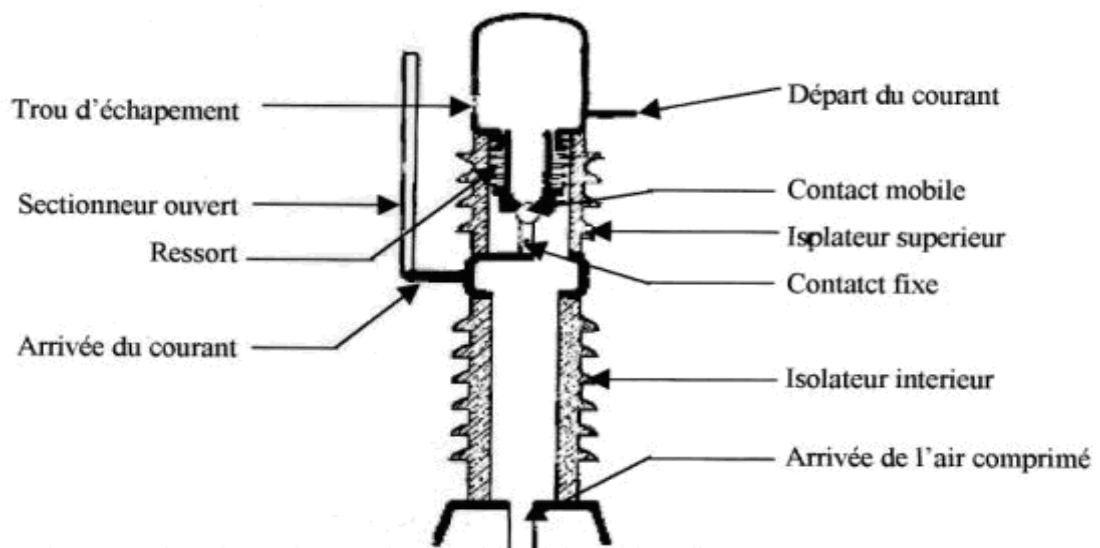


Fig II.12 : Constitution d'un disjoncteur à air comprimé. [13]

III-5-2-1-5) Disjoncteur au SF₆ (hexafluorure de soufre) :

Le SF₆ est un gaz lourd, inodore, incolore, non toxique, inflammable et ayant de très bonnes caractéristiques diélectriques.

Les disjoncteurs au SF₆ sont disponibles pour toutes les tensions dans la gamme de 14,4kV à 800kV, et ils possèdent un pouvoir de coupure six fois supérieur à celui du DAC. Ils sont à la base des postes blindés à HT, dont le développement se poursuit d'une façon rapide. Ce type de disjoncteurs a l'avantage de s'installer aussi bien en position horizontale qu'en position

verticale, seront la structure des postes. Les distances seront réduites et les postes seront plus compacts. (fig III-13). [3]

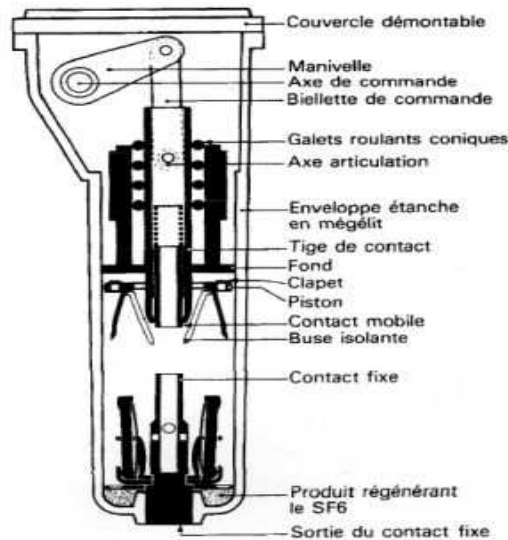


Fig III.13: Constitution d'un disjoncteur à l'hexafluorure de soufre. [13]

III-5-2-1-6) Disjoncteur à vide :

Le principe de fonctionnement de ce disjoncteur est différent de celui des autres, car l'absence d'un gaz évite le problème d'ionisation lors de l'ouverture des contacts. Ce disjoncteur est scellé hermétiquement de sorte qu'il n'occasionne aucun problème de contamination, ni de bruit.

Sa tension de rupture est limitée à environ 30kV, et pour une tension plus grande. On met plusieurs modules en série [3]

III-5-2-2) Caractéristiques des disjoncteurs :

- Le courant nominal : c'est l'intensité nominale qu'un disjoncteur doit protéger.
- Tension nominale : elle dépend des distances d'isolement.
- Nombre de pôles : de un à quatre selon les applications.

- Pouvoir de coupure : c'est l'intensité du courant limite que le disjoncteur peut couper sous tension de rétablissement.
- Pouvoir de fermeture : c'est l'intensité du disjoncteur à fermer le circuit à protéger dans les conditions de fonctionnement.
- Le temps de déclenchement : ce temps est indispensable pour le choix d'un disjoncteur dans les cas suivants :
 - Protection des transformateurs
 - Protection sélective avec association de disjoncteur.

III-5-3) Relais :

Le relais est un dispositif électrique provoquant le fonctionnement des systèmes qui isolent une certaine zone du réseau en défaut ou actionnant un signal en cas de défaut ou de conditions anormales de marche (alarme, signalisation). [8]

III-5-3-1) Désignation d'un relais :

Un relais est désigné selon la grandeur surveillée (tension, courant, puissance, fréquence, impédance.....).

- Relais à maximum de courant RMA ou TA.
- Relais à maximum ou minimum de tension RMV ou TV
- Relais à minimum d'impédance RMZ ou TZ.
- Relais directionnel de puissance RDW ou TLW.
- Relais à minimum de réactance.

III-5-3-2) Différents type de relais :

Il existe essentiellement trois classes de relais fig (III-14)

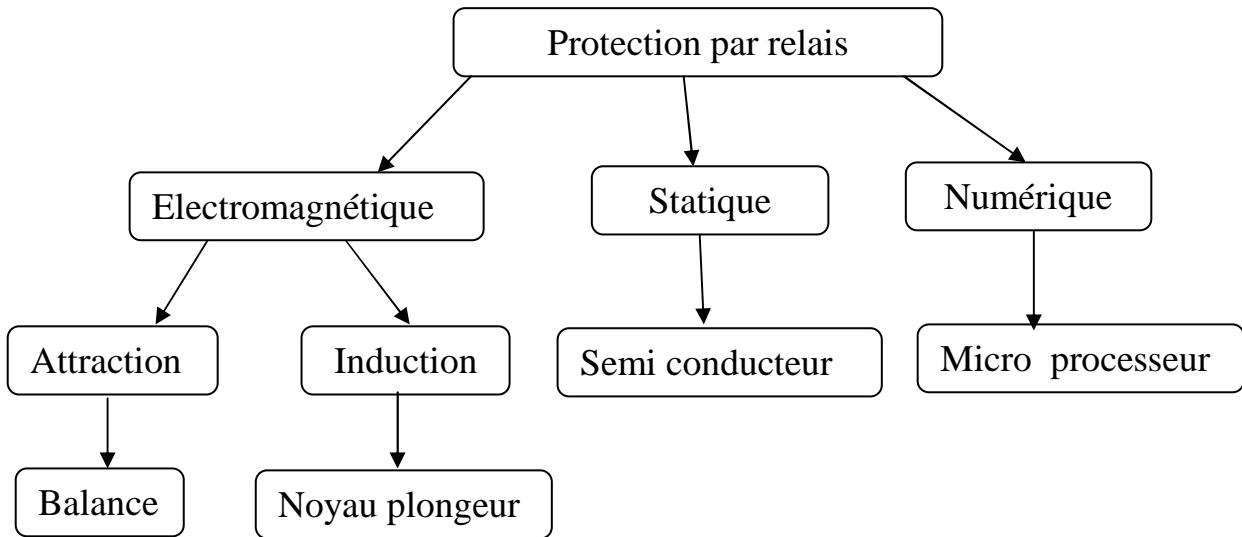


Fig III-14 Différents type de relais

III-5-3-3 Constitution d'un relais :

a) Relais électromagnétique :

Un relais électromagnétique fig (II-15) comporte une armature ou un équipage mobile sur lequel agissent des bobines ou des aimants ou des conducteurs.

On distingue différents types de relais électromagnétiques.

- **Relais a noyau plongeur :**

Son principe de fonctionnement est basé sur l'action qui s'exerce entre les éléments de fer aimanté.

Une bobine fixe, parcourue par un courant, provoque l'aimantation d'un circuit magnétique dont une partie mobile se déplace.

La force d'attraction sur la partie mobile sera d'autant plus grande que l'intensité du courant sera plus élevée et l'entrefer plus faible. [8]

- **Relais à balance :**

C'est un relais dont l'équipage est constitué par un fléau de balance soumis à l'action de deux forces antagonistes.

Deux forces magnétiques s'opposent l'une à l'autre par l'extrémité du fléau.

Tant que le champ magnétique dans les deux bobines B1, et B2 demeure dans un rapport approprié les contacts du relais restent ouverts.

Lorsque le champ magnétique devient plus grand dans la bobine de fonctionnement B1 dans la bobine B2 de retenue assez fort pour annuler la tension du ressort, les contacts de relais se ferment. [2]

- **Relais à induction :**

Un courant alimentant les bobines fixes de l'électro-aimant produit des champs magnétiques qui créent des courants induits qui font tourner le disque.

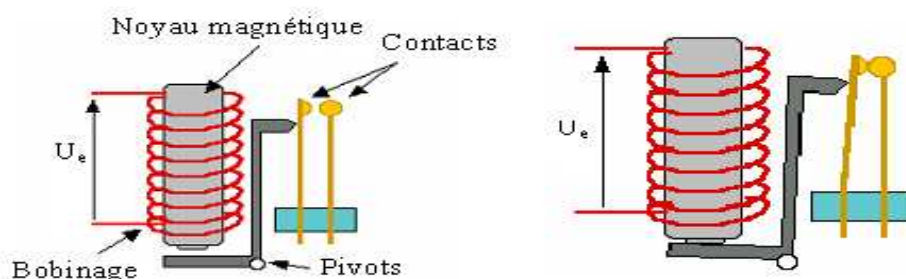


Fig III.15:Relais électromagnétique

b) Relais statique :

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

Plus précis, plus sensibles, plus rapides, plus sélectifs, rapidité dépannage, durée de vie plus longue, faible consommation et moins encombrant. [8]

III-6) Protection des transformateurs :

III-6-1) Défauts dans les transformateurs :

Ils peuvent être de nature très diverses :

- **Diélectriques** : amorçage entre enroulement, entre pièces ou une décharge partielle.
- **Electriques** : mauvais contacts dans les connexions et les chargeurs de prise.
- **Electrodynamiques** : effort dus à un court-circuit interne ou extrême.
- **Electromagnétiques** : courant de Foucault induit dans le circuit magnétique, les pièces de serrage, la cuve.
- **Thermiques** : échauffement anormal, point chaud, vieillissement thermique pollution de l'huile.
- **Mécanique** : vibrations, fuites, fonctionnement défectueux du chargeur de prises. [3]

Les différents types de défaut ont des degrés de gravités variables en fonction de l'importance des dommages causés et de leur répercutions.

Certains ont une évolution lente et ne mettent pas en dangers immédiats l'appareil (vibration, décharge partielle). D'autre demandent des mesures de sauvegardes (surchage). Les incidents susceptibles de produire des dégâts

importants, nécessitent une intervention automatique (court – circuit, amorçage interne).

Pour des mesures de sécurité, il est indispensable d'isoler l'appareil du coté primaire et du coté secondaire avant toute intervention car le transformateurs est un appareil réversible.

Plusieurs incidents peuvent affecter les transformateurs, dont on peut citer :

1- Incident réseaux

- Les courants-circuits
- Les surcharges
- Les surtensions

2- Défauts à l'intérieur de la cuve.

3- Défauts à l'extérieur de la cuve. [3]

III-6-2) protection internes des transformateurs :

III-6-2-1) Protection par détection de gaz (protection BUCHHOLZ) :

Tout défaut à l'intérieur d'un transformateur s'accompagne d'un arc électrique dans l'huile provoquant un dégagement gazeux provenant de la décomposition du liquide (l'huile), le gaz formé monte à la partie supérieure du liquide. La présence de ces bulles dans le gaz du transformateur est l'indice du défaut interne, lorsque le défaut est peu important, le dégagement de gaz est lent, les bulles de gaz s'accumulent à la partie supérieure du relais BUCHHOLZ [3]

III-6-2-1-1) Description du relais BUCHHOLZ :

Le relais BUCHHOLZ fig (III-16) est constitué essentiellement de :

- Un corps en acier avec deux brides de raccordement

- Deux flotteurs métalliques étanches indépendants pouvant pivoter autour d'un axe.
- Deux contacts unipolaires à mercure
- Quatre bornes correspondantes à deux circuits électriques indépendants.
- Un voyant constitué par un verre pyrex, permettant d'évaluer le volume de gaz accumulé.
- Un robinet de purge pouvant servir à vérifier le fonctionnement du signal d'alarme
- Un robinet de vidange. [2]

III-6-2-1-2) Principe de fonctionnement :

Lorsque le transformateur est affecté d'un défaut interne, les gaz provenant de la décomposition de l'huile ou de la dégradation des isolants par l'arc électrique remonteront vers le relais BUCHHOLZ et entraînent suivant l'importance du défaut, le basculement des flotteurs, soit en position déclenchement soit en position alarme.

Après le fonctionnement du relais BUCHHOLZ, l'accumulateur de gaz situé à la partie supérieure du relais peut renseigner sur l'origine du défaut.

Après examen visuel la couleur des gaz donne une indication sur l'endroit du défaut :

- Gaz blanc proviennent de la destruction de papier
- Gaz jaune proviennent de la destruction des pièces en bois
- Gaz noir ou gris proviennent de la détérioration de l'huile.

Un examen complémentaire renseigne aussi sur la nature du défaut [8]

Si les gaz ne sont pas inflammables on conclut que c'est de l'air qui provient soit de l'évacuation d'une poche d'air, soit de fuite d'huile.

Si les gaz s'enflamment, il y a destruction des matières isolantes, donc le transformateur doit être mis hors service.

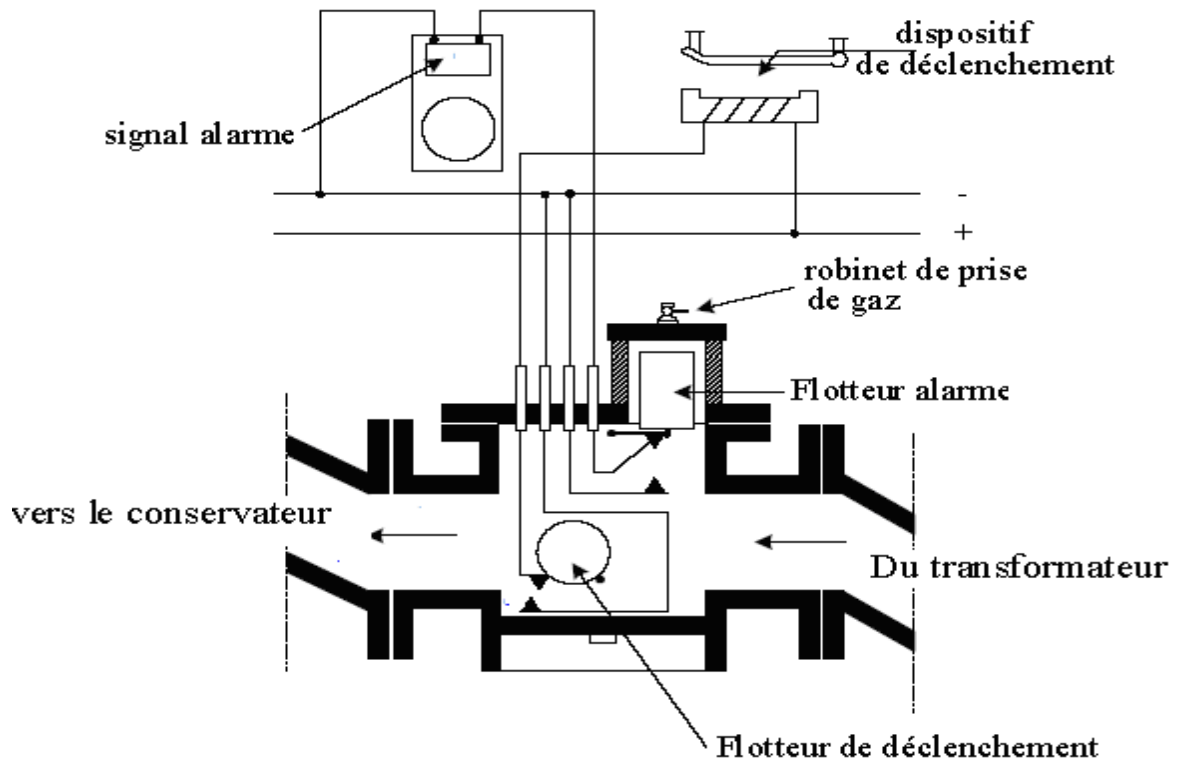


Fig III-16 : Schéma de principe du relais BUCHHOLZ [8]

III-6-3 Protection externe des transformateurs :

Le transformateur est protégé par l'un des procédés suivants :

- Les dispositions constructives internes
- Des éclateurs généralement placées entre l'entrée des traversées isolantes du transformateur et la cuve aux bornes d'une chaîne d'isolateurs.

III-7 Protection des départs moyenne tension

Les protections sont installées en tête de départ. La protection est réalisée par trois relais ; deux relais de phase qui assurent la protection contre les défauts entre phases (polyphasé) et un relais homopolaire qui assure la protection contre les défauts entre phase et terre (monophasé). Ces relais sont alimentés par des transformateurs de courant insérés dans les phases. [13]

III-7-1 Protection contre les défauts entre phases

Elle est réalisée par deux relais à maximum de courant à deux seuils alimentés par deux transformateurs insérés dans deux phases **Fig III-17**. La phase ne comportant pas de relais se trouve protégée par les relais des deux autres phases car tout défaut entre phases intéresse au moins deux de ces dernières.

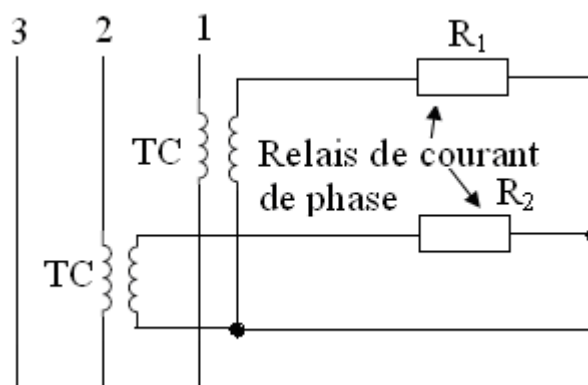
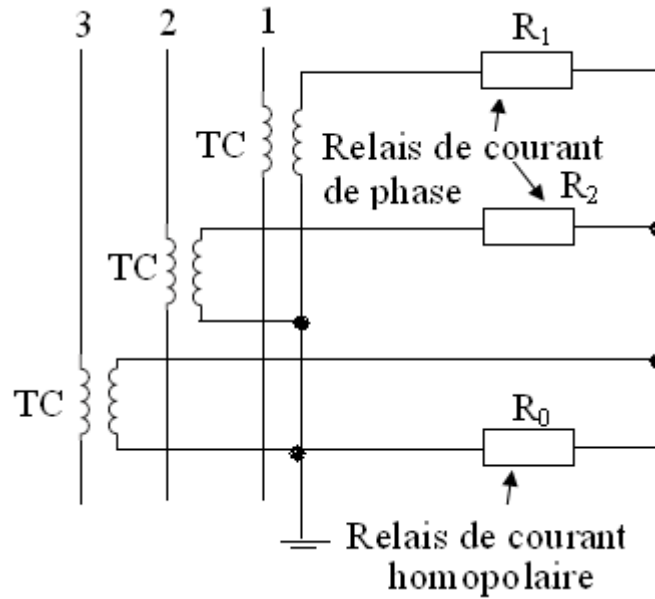


Fig III-17: Schéma de montage des relais de phases

III-7-2 Protection contre les défauts entre phase et terre

Elle est effectuée par un relais, à maximum de courant résiduel, placé sur le neutre de l'étoile formée par les secondaires des transformateurs de mesure (comme la **Fig III-18** l'indique).



FigIII-18: Raccordement d'une protection à maximum de courant [13]

III-7-3 protection contre les courts- circuit

Il est impossible d'éviter d'une façon absolue les courts- circuits, mais on peut minimiser leur conséquence en mettant hors circuit le plus vite possible la partie défectueuse de la ligne. A cet effet, on utilise les coupes circuits à fusible, il est disjoncté aux maximum de courant. [3]

III-8) Protection des jeux de barres MT et leurs câbles de liaison aux transformateurs HT, MT :

Les jeux de barre MT et leurs câbles de liaison aux transformateurs dans les postes HT/MT sont rarement le siège de défauts.

Toutefois les incidents sur les jeux de barres et leurs câbles de liaisons demeurent possibles, leurs productions entraînent de graves perturbations dont il est nécessaire de limiter les effets par des protections appropriées.

III-8-1) protection des jeux de barres :

Les jeux de barres sont rarement le siège de défauts du fait de leurs petites longueurs et petit diamètre, mais il est nécessaire de prévoir leurs éliminations le plus rapidement possible car ils peuvent engendrer des dégâts importants, comme ils peuvent déstabiliser une partie ou tout le réseau. [12]

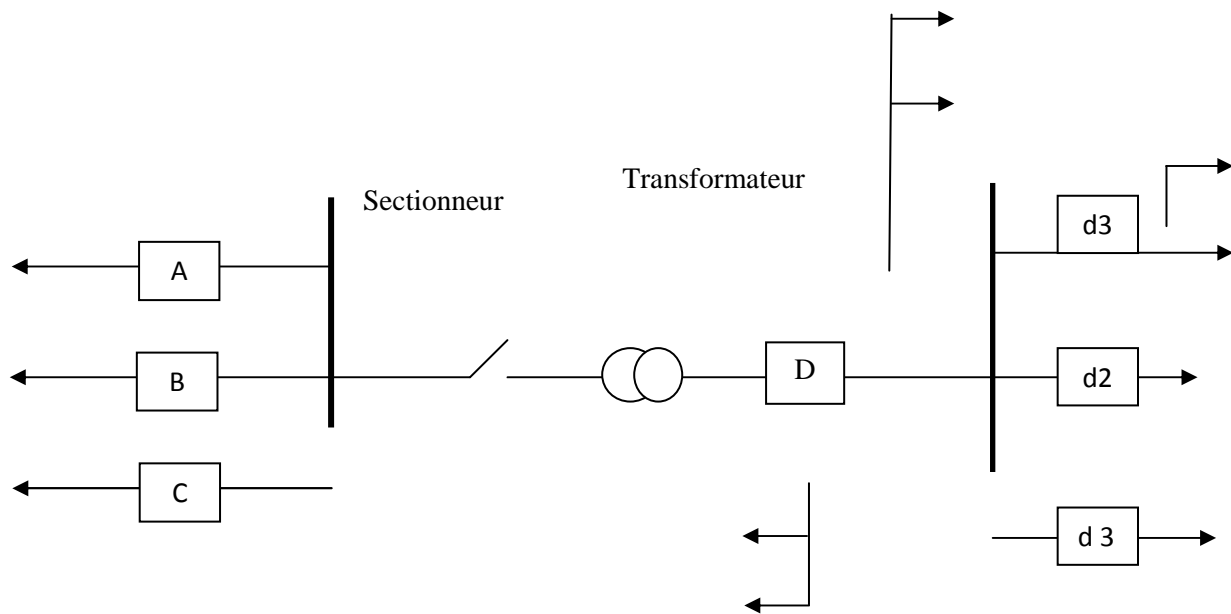


Fig III-19 : Protection de jeu de barre. [2]

III-8-1-1) Protection différentielle :

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

III-8-1-2) Protection de masse :

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

III-8-2) Protection des liaisons (lignes et câbles) :

Ce défaut est détecté par deux relais à maximum d'intensité, temporisés et associés au transformateur HT /MT.

Cette protection provoque l'ouverture du disjoncteur l'ouverture (À, B, C) qui permet l'ouverture de sectionneur. Une fois le sectionneur est ouvert, les disjoncteurs A, B, C se referment, permettent ainsi la continuité de l'exploitation HT.

Le disjoncteur D reste ouvert, la reprise de l'exploitation MT, ne sera possible qu'après réparation de la partie en défaut. Le réglage des relais en intensité est identique à celui des protections des jeux des jeux de barre.

III-9 Conclusion :

Après avoir étudié les différents défauts affectant les réseaux moyens tension dans le chapitre précédent, nous avons intérêt d'étudier leurs moyens de protection.

Pour cela, nous avons bien défini les qualités qu'un système de protection doit satisfaire pour assurer une meilleure protection des différentes parties d'un réseau moyen tension.

Chapitre VI

Application sur le départ BOUKHALFA

VI-1 Introduction

Ce chapitre consiste à calculer les courants de court-circuit qui peuvent exister dans un réseau de distribution moyenne tension (MT), notre application est faite sur le départ BOUKHALFA issu du poste simplifié 30/60KV Draa Ben Khedda.

Les grandeurs physiques utilisées dans le calcul des courants de court-circuits sont ;

- La puissance ;
- La tension ;
- Le courant ;
- L'impédance

Elles peuvent être exprimées soit :

- En grandeur absolues (avec dimensions) ;
- En pourcentages % ;
- En valeur réduites (sans dimension) ;

Pour les systèmes complexes, il est préférable de faire le calcul des courants de court-circuit à l'aide des valeurs réduites.

IV-2 Calcul des courants de court-circuit

IV-2-1 courant de court-circuit triphasé

Le courant de court-circuit est donné par la formule suivante :

$$I_{ccT} = \frac{E}{Z_d}$$

E : fem de la source ou tension simple V

Z_d : impédance équivalente dans le système direct

IV-2-2 courant de court circuit monophasé (entre une phase et la terre)

Le courant dans la phase en défaut est :

$$I_{ccM} = \frac{3 E}{Z_d + Z_i + Z_o}$$

Z_i : impédance équivalent dans le système inverse

Z_o : impédance équivalent dans le système homopolaire

IV-3 Application :

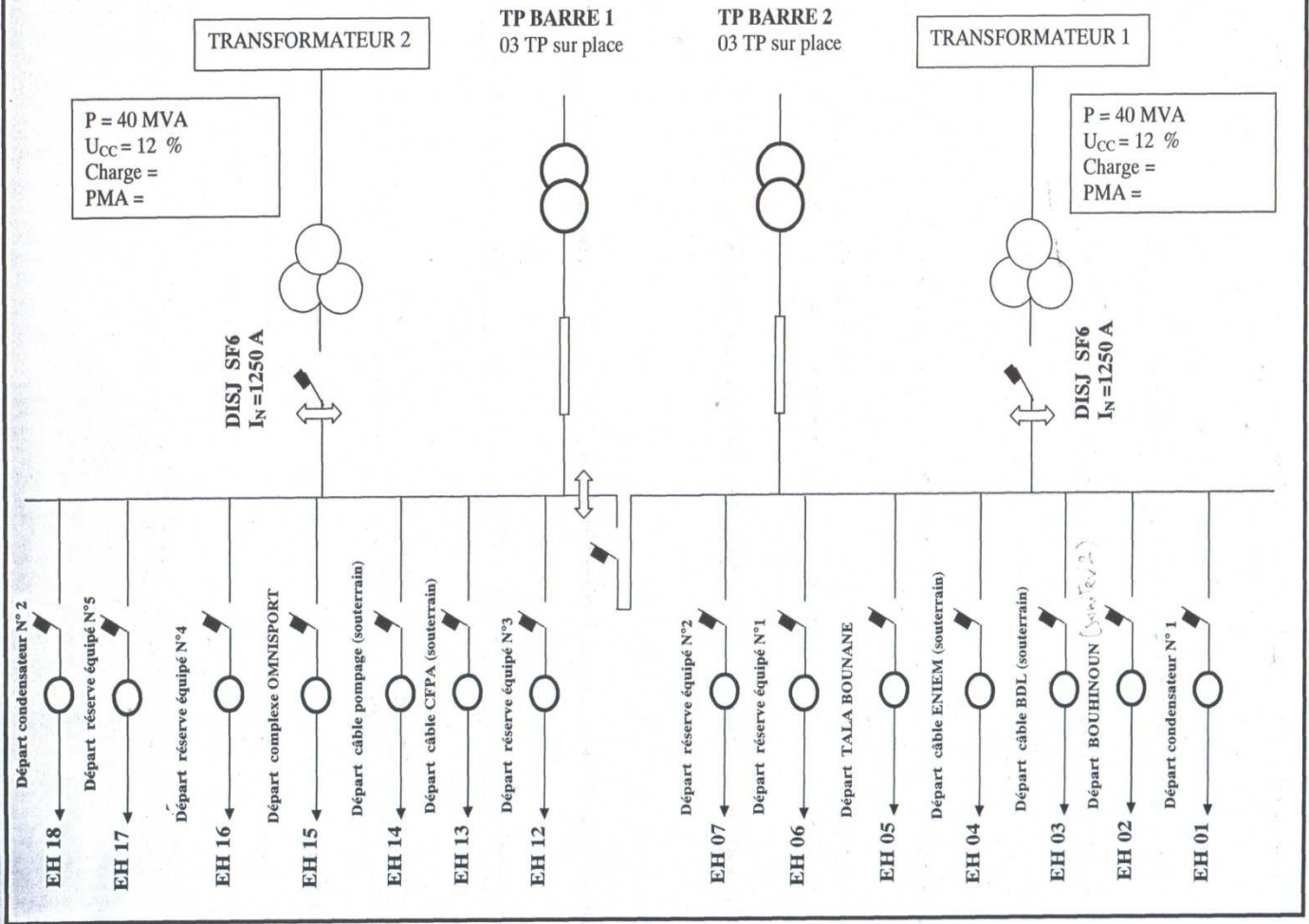
IV-3-1 Données techniques

- Niveau de tension primaire $U=60$ KV avec une puissance de court-circuit $S_{cc}=2500$ MVA
- Niveau de tension secondaire $U=30$ KV avec une puissance de court-circuit $S_{cc}=500$ MVA.
- La longueur de la ligne $L=21$ Km
- Puissance nominale d'un transformateur $S_n = 40$ MVA
- Tension de court- circuit des transformateurs $U_{cc}=10\%$
- La réactance linéique de la ligne $X_o= 0,4\Omega/Km$

IV-3-2 Méthode de calcul :

Ce schéma représente la distribution de l'électricité vers les différentes régions, nous on va s'intéresser à un seul départ qui est le départ MT 30KV ***BOUKHALFA*** issu du poste source 60/30 KV ***Draa Ben Khedda***

SCHEMA DU POSTE SIMPLIFIE 60/30 KV BOUKHALFA (04 départs souterrains : Pompage, CFPA, ENIEM et BDL)



On ramène toutes les impédances à la tension aux points de défaut.

On simplifié le schéma en associant les impédances série et parallèles.

Le travail demandé consiste à :

Calculer les courants de court-circuit triphasé et monophasé franc à la terre.0

IV-3-3 choix de valeur de base :

On choisit les valeurs nominales comme grandeurs de base :

$U_b=30KV$, $S_b=100MVA$

On déduit

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b}$$

$$I_b = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 30} = 1.29KA$$

$$Z_b = X_b \frac{U_b^2}{S_b}$$

$$Z_b = \frac{(30 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 10^6} = 9\Omega$$

IV-4 Valeur des impédances réduites

IV-4-1 Composantes directs

a- Ligne :

$$Z_{dl}^* = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_b}{U_b^2}$$

$$Z_{dl}^* = 0,4 \times 21 \times \frac{100}{30^2} = 0.93$$

b- transformateurs à deux enroulements

$$Z_{dtr}^* = \frac{U_{cc}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n}$$

$$Z_{atr}^* = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0.25$$

c- Réseau amont

$$Z_{dr}^* = \frac{S_b}{S_{cc}}$$

$$Z_{dr}^* = \frac{100}{2500} = 0.04$$

IV-4-2 composantes homopolaires

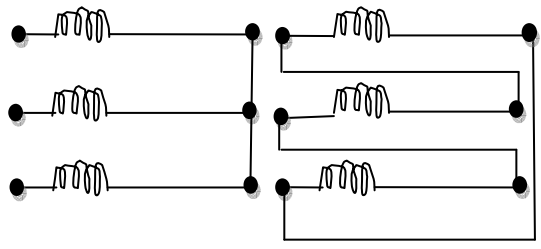
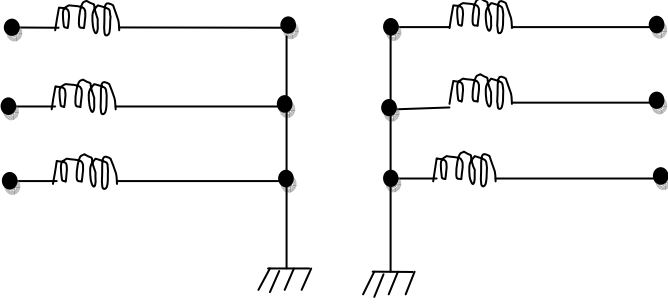
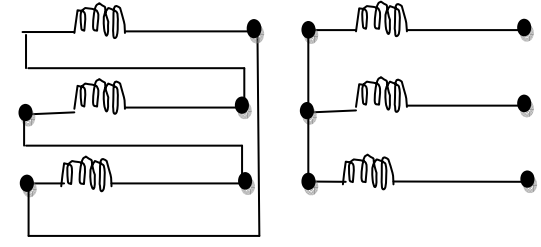
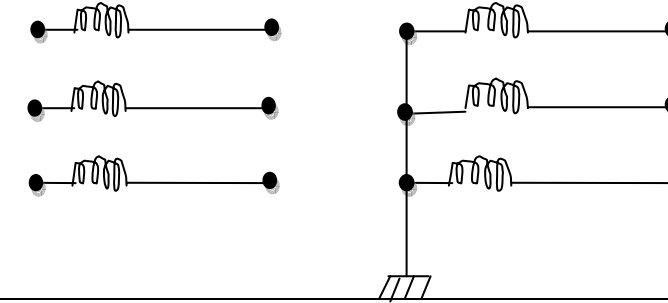
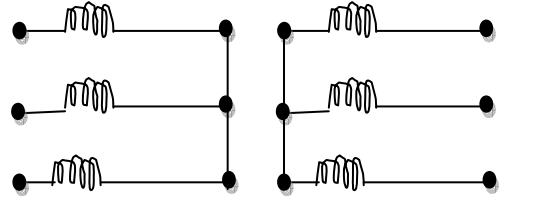
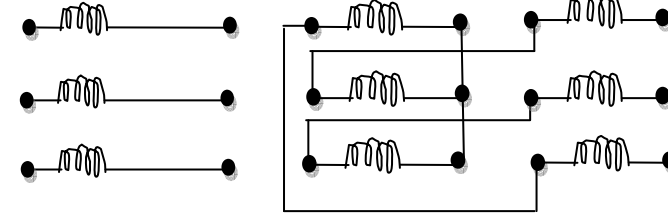
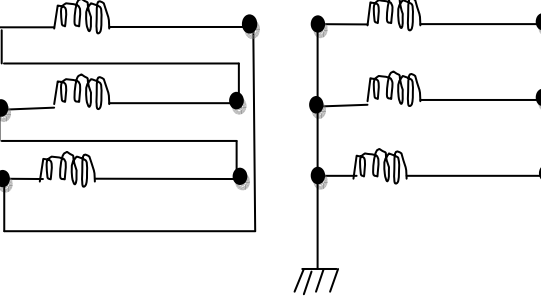
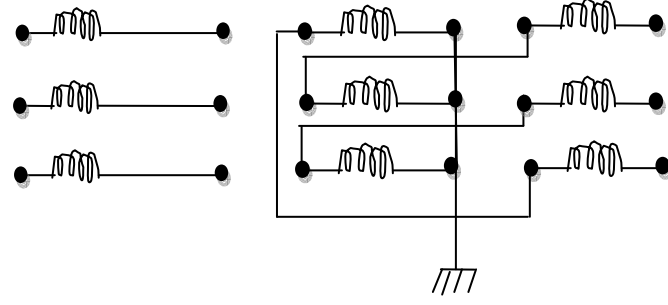
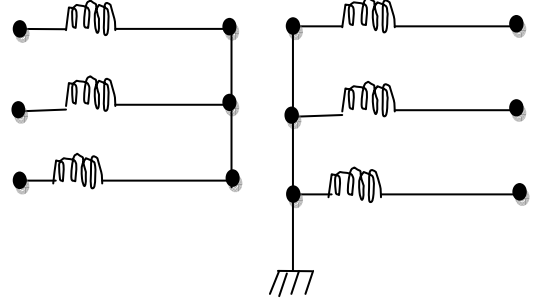
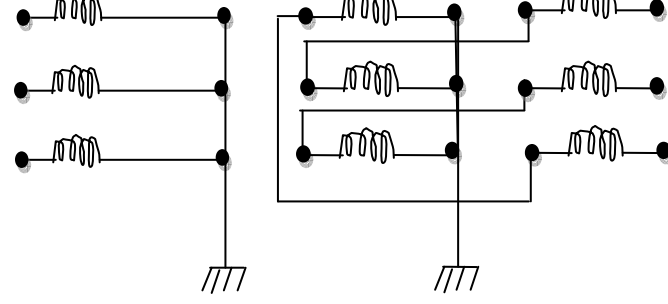
a- Ligne

$$Z_{oL}^* = 3 \cdot Z_{dl}$$

$$Z_{oL}^* = 3 \times 0.93 = 2.79$$

b- transformateurs à deux enroulements

Le transformateur utilisé est à couplage étoile - étoile dont le neutre primaire est à la terre au moins de deux et on déduit la valeur de Z_{otr} du tableau1

Couplage	Z_0	Couplage	Z_0
	∞		FL ∞ FF 10 Z_d
	∞		Z_d
	∞		∞
	Z_d		2 à 5%
	FL ∞ FF 10 Z_d		2 à 5%

FL : Flux libre
FF : flux Forcé

Tableau 1 Exprime la valeur de Z_0 impédances homopolaires en fonction de couplage des transformateurs

Donc :

*

$$Z_{otr}^* = Z_{dtr}$$

$$Z_{otr}^* = 0.25$$

c- Réseau amont

$$Z_{or}^* = 3 \times \frac{S_b}{S_{cc}} - 2 \times Z_{dr}^*$$

$$Z_{or}^* = 0.04$$

IV-5 Valeurs des courants de court-circuit se produisant sur le jeu de barre 30KV.

a- court circuit triphasé :

Le schéma direct correspondant est le suivant

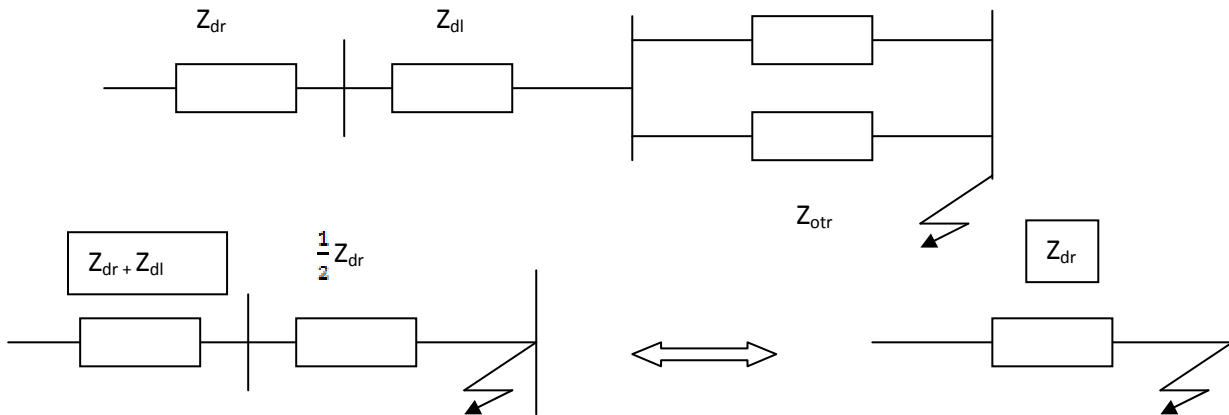


Figure 1

$$Z_d^* = (Z_{dr}^* + Z_{dl}^*) + \frac{1}{2} Z_{otr}^*$$

$$Z_d^* = (0.04 + 0.93) + \frac{1}{2} 0.25 = 1.095$$

$$Z_d = Z_d^* \times Z_b$$

$$Z_d = 1.095 \times 9 = 9.855 \Omega$$

Le courant de court-circuit triphasé est :

$$I_{ccT2} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_d}$$

$$I_{ccT2} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 9.855} = 1.757 \text{ KA}$$

Si on ne tient pas compte de la ligne on trouve :

$$Z_d^* = (Z_{dr}^* + \frac{1}{2}Z_{otr}^*)$$

$$Z_d^* = \left(0.04 + \frac{1}{2}0.25\right) = 0.165$$

$$Z_d = 0.165 \times 9 = 1.485\Omega$$

Le courant de court-circuit triphasé dans ce cas est :

$$I_{ccT2} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_d}$$

$$I_{ccT2} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 1.485} = 11.66 \text{ KA}$$

b- court – circuit monophasé :

Le schéma homopolaire correspondant est le suiv: Z_{otr}

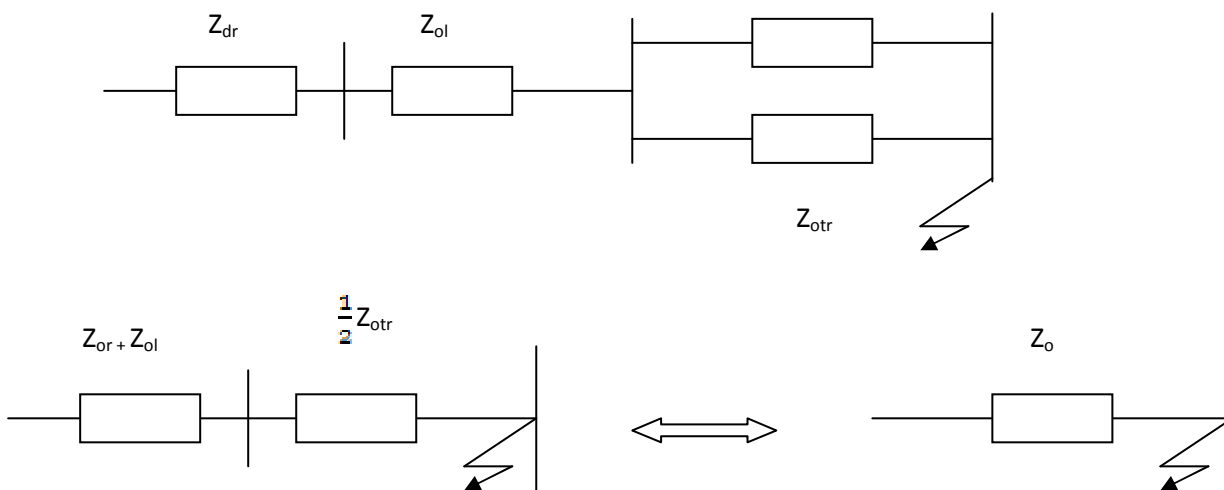


Figure 2

$$Z_o^* = (Z_{or}^* + Z_{ol}^*) + \frac{1}{2}Z_{otr}^*$$

$$Z_o^* = (0.04 + 2.79) + \frac{1}{2}0.25 = 2.955$$

$$Z_o = Z_d^* \times Z_b$$

$$Z_o = 2.955 \times 9 = 26.595\Omega$$

Le courant de court – circuit monophasé est :

$$I_{ccM2} = \frac{U\sqrt{3}}{2 \times Z_d + Z_o}$$

$$I_{ccM2} = \frac{30\sqrt{3}}{2 \times 9,855 + 26,595}$$

$$I_{ccM2} = 1.122KA$$

Si on ne tient pas compte de la ligne, on trouve

$$Z_o^* = Z_{or}^* + \frac{1}{2} Z_{otr}^*$$

$$Z_o^* = (0.04 + \frac{1}{2} \cdot 0.25) = 0.165$$

$$Z_o = 0.165 \times 9 = 1.485$$

$$I_{ccM2} = \frac{30\sqrt{3}}{2 \times 1.485 + 1.485}$$

$$I_{ccM2} = 11.66KA$$

IV-6 calcul du courant de coupure :

Le disjoncteur est caractérisé par :

- **la tension nominale** : elle correspond à l'endroit où est placé le disjoncteur.
- **Le courant nominal** : il doit être plus grand que le courant de charge maximum du circuit à l'endroit où est placé le disjoncteur.
- **Pouvoir de coupure** : c'est le courant de court circuit le plus élevé que le disjoncteur peut interrompre sans aucun problème. Il est donné par la relation suivante :

$$S_{cc} = \sqrt{3} U_n \cdot I_{coup} \quad \text{Avec : } I_{coup} = K_{coup} \cdot I_{ccmax}$$

$$\text{et } K_{coup} : \text{ en fonction } \left[T_{coup}, \frac{I_{pd}}{\sum I_n} \right]$$

I_{coup} : courant de coupure

T_{coup} : temps de coupure

I_{pd} : somme des courants nominaux de tous les générateurs du réseau

Comme le coefficient K_{coup} ne peut être déterminé qu'en connaissant la somme des courants $\sum I_n$: et que ces derniers ne sont pas connus donc, on considère le cas le plus défavorable $K_{coup} = 1$

D'où :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{coup} = I_{ccT} \\ S_{cc} = \sqrt{3} U_n I_{ccmax} \end{array} \right.$$

Disjoncteur au niveau de tension 30kv

Le courant de court- circuit maximal est :

$$I_{\text{coup}} = I_{\text{cc max}} = 1757\text{A}$$

$$S_{\text{cc}} = \sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 1757 = 91.29\text{MVA}$$

IV-6-1 Valeurs normalisées pour le choix des disjoncteurs

Les valeurs sont données dans le tableau suivant :

<i>Valeur nominalisée</i>	<i>Disjoncteur du jeu de barre 30kv</i>
Tension d service Un (KV)	30
Courant de coupure (KA)	12.5
Courant nominal In (A)	1250
Courant de courtes durées admissibles (3s) (KA)	300

IV-6-2 Valeurs obtenues

Les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Valeurs obtenues	Disjoncteur du jeu de barre 30 KV
Tension de service Un (KV)	30
Courant de coupure (KA)	1.757
Courant nominal In (A)	769

IV-7 Conclusion

Après avoir fait le calcul du courant de court circuit concernant le départ BOUKHALFA, on constate que les valeurs obtenues sont inférieures aux valeurs données par la SONELGAZ.

Donc ces résultats permettent d'affirmer que la sécurité des personnes et des matériels est assurée.

Conclusion générale :

Durant notre travail, nous nous sommes basées sur l'étude des protections d'un réseau de distribution MT. Nous avons traité successivement les différents défauts qui peuvent affecter un réseau moyenne tension et les méthodes de calcul des courants de court-circuit, mais encore les moyens de protection de ce réseau qui sont une condition nécessaire pour l'amélioration de la continuité et la qualité de service surtout de nos jours

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

L'application sur le départ MT Boukhalfa issu du poste 60/30Kv de Draa Ben Khedda nous a permis d'enrichir nos connaissances sur le calcul du courant de court-circuit et la détermination de la valeur de coupure .

LEGENDE

<i>Indication abrégé</i>	<i>Description</i>
<i>BHT</i>	Barre haute tension
<i>BMT</i>	Barre moyenne tension
<i>CA</i>	Poste en cabine
<i>CP</i>	Cellule de départ MT
<i>CS</i>	Câble de secours
<i>CT</i>	Câble de travail
<i>D</i>	Dorsale
<i>DA</i>	Disjoncteur arrivé HT
<i>DC</i>	Disjoncteur de couplage
<i>DD</i>	Disjoncteur de départ
<i>DTR</i>	Disjoncteur pour transformateur
<i>DDAT</i>	Disjoncteur débrochable d'arrivé de transformateur
<i>DDC</i>	Disjoncteur débrochable de couplage
<i>DDD</i>	Disjoncteur débrochable de départ
<i>I</i>	Interrupteur
<i>IA</i>	Interrupteur automatique
<i>P</i>	Poste MT/BT en coupure d'artère
<i>PA</i>	Pont amovible
<i>PO</i>	Poste sur poteau
<i>PR</i>	Point de réflexion
<i>SM</i>	Sectionneur
<i>F</i>	Fusible
<i>SD</i>	Sous dérivation
<i>SMT</i>	Sectionneur de ligne avec couteaux de mise à la terre
<i>TRH</i>	Transformateur HT/MT

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : SABONNADIÈRE JEAN- CLAUDE : « Lignes et réseaux électriques »
- [2] : K.IFERES, N. KACED ET R.SELILA : « Dimensionnement et protection d'un départ moyenne tension. Application au départ Isser issus de Tizi-Medden » Mémoire d'ingénieur université de Tizi-Ouzou. Année 2007.
- [3] : H.LALDJI, B.IRENE ET H.BENSELAMA : « Diagnostique du départ A.E.H Moyenne Tension 30KV issu de la centrale Souk el Djemaa »Mémoire d'ingénieur université de Tizi-Ouzou. Année 2003.
- [4] : « Protection des réseaux électriques » .Document SONELGAZ
- [5] : Guide technique de la SONELGAZ. Edition 1996
- [6] : THEODOR WILD « Electrotechnique » .Edition 2000
- [7] : H.BELMAHDI ET N.ABDELLI : « Etude de la protection d'un réseau de distribution moyenne tension. Application au poste de transformation et de distribution HT/MT Oued Aissi/Tizi-Ouzou »2008
- [8] : Protection des départs MT (SONELGAZ).
- [9] :BENALI Ahmed : « Etude des protections des départs moyenne tension .Application poste 60/30KV FREHA »
Mémoire d'ingénieur université de Tizi-Ouzou. Année 2002
- [10] : D. MELLAL « Protection des réseaux » .Document SONELGAZ
- [11] : Mémoire de fin d'étude document SONELGAZ
- [12] : MOHHMED BACHIR BENABID « Protections du réseau électrique » .Office des publications universitaires. SONELGAZ, année 1988
- [13] : S. ABBASSEN et N. KACED « Etude des protections des Départs MT. Application poste 60/30KV FREHA » .Mémoire d'ingénieur, université de Tizi-Ouzou. Année 2008
- [14] : Calculs des protections des réseaux moyenne tension ». Document SONELGAZ.