

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE
OPTION : ELECTROMECHANIQUE

THEME

Protections des réseaux électriques MT et HT

Proposé et dirigé par :
- M. Miloud BAHIDDINE

Présenté par :
- SIABDELLAH Toufik
- AOUIDJI Oussama
- DOGHMANE Zakaria

Année Universitaire : 2011/2012

Remerciements

Nous remercions Dieu avant tous de nous donner

La force et la patience dans ce projet.

Nos remerciements seront pour toutes personnes

Ayant une aide directe ou indirecte dans la préparation

De ce mémoire.

Ainsi du fond du cœur à

Notre encadreur Mr. Miloud BAHIDDINE

Tous les membres du département.

A nos familles et amies.

Dédicaces

On dédie cette réalisation à nos parents qui se sont donné

La peine de nous aider par tous moyens,

Et la confiance qu'ils nous ont accordée.

À nos amis intimes.

À nos amis du département de génie électrique

Et pour ne pas oublier ceux qui on passer avec nous

Des années d'étude inoubliables.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE-----	1
CHAPITRE I	
Génialité sur les réseaux	
I.1 Introduction -----	2
I.2 Définition d'un réseau électrique -----	2
I.3 Les Différents types des réseaux électriques-----	2
I.3.1 Classification d'après la topographie -----	3
I.3.1.1 Les réseaux aériens -----	3
I.3.1.2 Les réseaux souterrains -----	3
I.3.1.3 Réseaux radiaux -----	3
I.3.1.4 Les réseaux magistraux -----	4
I.3.1.5 Réseaux bouclés -----	4
I.3.1.6 Réseaux maillés -----	5
I.3.2 Classification d'après le niveau de tension -----	5
I.3.2.1 les Réseaux de Transport et d'interconnexion de l'énergie électrique-----	6
I.3.2.2 Les Réseaux de répartition -----	6
I.3.2.3 les Réseaux de distribution de l'énergie électrique-----	7
I.4 Les composants d'un réseau électrique -----	8
I.4.1 Les conducteurs -----	8
I.4.2 Les supports -----	8
I.4.3 Les isolateurs -----	9
I.4.4 Les poste de transformation -----	10
I.4.4.1 Poste maçonné -----	10
I.4.4.2 Poste aérien accroché (ACC) -----	11
I.4.5 Les dispositifs de protection -----	11
I.4.6 Les appareille de commande -----	11
I.5 Conclusion -----	11
Chapitre II	
Architecture des réseaux électrique	
II.1 Introduction -----	12

II.2 Définition -----	12
II.3 Architectures des postes HTB -----	14
II.3.1 Simple antenne -----	14
II.3.2 Double antenne -----	15
II.3.3 Double antenne avec double jeu de barres-----	16
II.4 Architecture du réseau de distribution HTA -----	17
II.5. Les postes sources HTB/HTA -----	18
II.6 Les lignes HTA -----	19
II.7 Types d'architectures du réseau HTA -----	20
II.7.1 Réseau radial a simple antenne -----	21
II.7.2 Réseau radial en double antenne sans couplage-----	22
II.7.3 Réseau radial en double antenne avec couplage-----	23
II.7.4 Réseau en boucle -----	24
II.8 Architectures des post HTA/BT supérieur à 630 KAR -----	27
II.9 Tableau générale basse tension (TGBT) -----	28
II.10 les perturbations dans les réseaux électriques -----	28
II.10.1 Les courts-circuits -----	29
II.10.1.1 les causes -----	29
II.10.1.2 Caractéristiques -----	30
II.10.1.3 Types -----	31
II.10.1.4 Nature -----	32
II.10.2 Les surtensions -----	33
II.10.3 Les surcharge -----	33
II.10.4 les perturbations transitoires -----	34
II.10.4.1 Impulsive -----	34
II.10.4.2 Les oscillations -----	35
II.10.4.3 Les déséquilibre -----	36
II.10.5 Les surintensités -----	36
II.11 Conclusion -----	36

Chapitre III

Etude de protection électrique

III.1 Introduction -----	37
III.2 Définition -----	37
III.3 Les fonctions de protection -----	37

III.4	Systèmes de protection	37
III.5	les relais de protection	38
III.5.1	les différents types de relais	38
III.5.1.1	les relais électromagnétique	38
III.5.1.2	Les Relais statique	40
III.5.1.3	Les Relais numériques	40
III.5.2	Principes de fonctionnement des relais de protection	41
III.5.3	Relais de mesure	41
III.5.4	Relais directionnel	42
III.5.5	Relais différentielle	43
III.5.6	Relais pilotent	43
III.6	Disjoncteur	43
III.6.1	Les différents types de courbes de déclenchement des disjoncteurs	45
III.6.1.1	La courbe B de déclenchement de disjoncteur	45
III.6.1.2	La courbe C de déclenchement de disjoncteur	46
III.6.2.3	La courbe D de déclenchement de disjoncteur	46
III.6.2	Les différents types des disjoncteurs HT	47
III.6.2.1	Disjoncteur à huile	47
III.6.2.2	Disjoncteur à air comprimé	47
III.6.2.3	Disjoncteur à haute tension au SF ₆ (Hexafluorure de soufre)	48
III.6.2.4	Disjoncteur à vide	48
III.7	Fusible	49
III.8	Transformateur de courant	50
III.8.1	Définition	50
III.8.2	Fonction	50
III.9	Transformateur de tension TT	51
III.9.1	Définition	51
III.9.2	Fonction	51
III.10	Eclateur	52
III.10.1	Les différents types des Éclateurs HT	52
III.11	Les parafoudres	53
III.12	Câbles de garde	53
III.13	Propriétés de protection	53
III.13.1	Fiabilité	53

III.13.2 Disponibilité -----	54
III.13.3 Rapidité -----	54
III.13.4 Sélectivité -----	54
III.13.4.1 Types de sélectivité -----	55
III.13.4.1.1 Sélectivité totale-----	55
III.13.4.1.2 Sélectivité partielle-----	55
III.13.4.2 Sélectivité ampéremétrique -----	56
III.13.4.3 Sélectivité chronométrique -----	57
III.13.4.4 sélectivité logique -----	58
III.13.4.5 Tableau de sélectivité des disjoncteurs -----	60
III.13.4.6 Vérification de la limite de sélectivité entre -----	62
deux disjoncteurs C60 /N /H et C60/N/H par les courbe de déclenchement	
III.13.5 Avantage de sélectivité -----	63
III.13.6 sensibilité -----	63
III.14 Conception des systèmes de protection -----	64
III.15 Contraintes supplémentaires pour la protection -----	65
III.16 Conclusion -----	65

Chapitre IV

Protection des éléments des réseaux

IV.1 Introduction -----	66
IV.2 Zone de Protection -----	66
IV.3 Les protections du réseau HT -----	67
IV.3.1 Liaisons par câbles -----	67
IV.3.1.1 Protection principale -----	67
IV.3.1.2 Réglage de relais de protection -----	68
IV.3.1.4 Protection de réserve -----	69
IV.3.1.5 Protection de surcharge (alarme) -----	69
IV.3.2 Liaison aériennes -----	69
IV.3.2.1 La protection principale -----	69
IV.3.2.2 La protection de réserve -----	69
IV.3.2.3 Protection complémentaires -----	70
IV.3.2.4 les Jeux de barres -----	70
IV.3.2.5 Protection des jeux de barres -----	70
IV.3.2.6 Les protections de lignes des clients HT -----	71

IV.3.2.7 Les protections pour lignes courtes -----	71
IV.4 Les protections moyennes tension (MT)-----	72
IV.4.1 transformateur-----	72
IV.4.2 Autotransformateurs-----	73
IV.4.3 Protection du transformateur-----	74
IV.4.3.1 Protection externe -----	74
IV.4.3.2 Protection interne -----	76
IV.4.4 Protection des transformateurs HTA/BT -----	80
IV.4.5 Protection des Départs HTA -----	80
IV.4.5.1 Protection à maximum de courante phase -----	80
IV.4.5.2 Protection de maximum de courant homopolaire -----	82
IV.4.5.3 Protection de terre résistant -----	84
IV.5 Automate de réenclencher -----	84
IV.6 Conclusion -----	86
CONCLUSION GINIRALE -----	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 L'ensemble des matériels électriques perturbés par la pollution harmonique.....	09
Tableau III 1 : Comparaison entre les méthodes d'identification des harmonique.....	31
Tableau IV.1 Obtention des deux niveaux de Tension, en fonction des etats des interrupteurs.....	41
Tableau IV.2 Obtention des deux niveaux de Tension pour toutes les combinaisons possibles	42









LISTE DES FIGURES

Fig. I.1. Représente la décomposition d'un signal périodique.....	03
Fig. I. 2. image d'une onde déformée.....	04
Fig. I.3. Représentation spectrale d'un sigpériodique.....	05
Fig. I.4. Filtre passif résonnant et amorti.....	10
Fig. I.5. Filtre actif série.....	11
Fig. I.6. Filtre actif parallèle.....	11
Fig. I.7. Combinaison parallèle-série de filtres actifs.	12
Fig. I.8. Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif	13
Fig. I.9 : Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.....	14
Fig. I.10. Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif.....	14
Fig. II.1 Les charges non linéaires déforment les signaux électriques du courant et de la tension.....	16
Fig. II.2. Redresseur monophasé.	17
Fig. II.3. II.3 signal d'un redresseur monophasé.....	18
Fig. II.4. Redresseur de Graetz a diode.....	19
Fig. II.5. La tension ou borne de la charge	19
Fig. II.6. Redresseur à point milieu a diod.....	20
Fig. II.7.Redresseur triphasé a diod.....	21

Fig. II.8. signal redresseur triphasé.....	25
Fig. II.9. La forme rectangulaire de courant d'entrée de pont à diode.....	25
Fig. III 1 Schéma représentant le principe de séparation des puissances ($x= p$ ou q).....	34
Fig. III.2 Algorithme (P-Q) D'extraction des courants harmoniques.....	36
Fig. IV.1 Principe du filtrage actif parallèle.....	38
Fig. IV.2 structure générale d'un filtre actif parallèle.....	39
Fig. IV.3 Schéma de principe de l'onduleur.....	39
Fig. IV.4 Onduleur de tension deux niveaux et les interrupteurs pouvant le constituer.....	41
Fig. IV.5 Schéma synoptique de la commande par régulateurs à hystérésis.....	44
Fig IV.6 Principe de commande des courants par MLI.....	45
FigIV.7 Répartition des commutations sur un bras d'un onduleur.....	46
FigIV.8 boucle de régulation de la tension continue.....	48
Fig .V.1 Schéma globale d'un filtre actif parallèle.....	51
Fig. V.2 Courant redressé de la charge.....	52
Fig. V.3 Tension redressée.....	53
Fig . V.4 spectre de fréquence Courant de charge	53
Fig .V.5 Courant de charge i_{ch1}	54
Fig. V.6 Courant de charge i_{ch2}	54
Fig. V.7 Courant de charge i_{ch3}	55
Fig. V.8 Les spectres fréquentiels des courants i_{ch1} , i_{ch2} , i_{ch3}	56
Fig. V.9 Puissance active instantanée.....	56
Fig .V.10 Spectre d'harmonique de Puissance active instantanée.....	57
Fig. V.11 Puissance réactive instantanée.....	57
Fig.V.12 Spectres d'harmoniques de Puissance réactive instantanée.....	57

Fig. V.13 Courant harmonique de référence i_{h1}	58
Fig. V.14 Courant harmonique de référence i_{h2}	58
Fig. V.15 Courant harmonique de référence i_{h3}	58
Fig. V.16 Les spectres des courants harmoniques de référence i_{h1} , i_{h2} et i_{h3}	59
Fig. V.17 le courant injecté par l'onduleur i_{inj1}	60
Fig. V.18 Le courant injecté par l'onduleur i_{inj2}	60
Fig. V.19 Le courant injecté par l'onduleur i_{inj3}	60
Fig V.20 Les spectres des courants injectés par l'onduleur i_{f1} , i_{f2} et i_{f3}	61
Fig. V.22 Courant de source i_{f1} , i_{f2} , i_{f3} après filtrage.....	62
Fig V.23 Les spectres des courants après filtrage.....	62

Symbole Graphiques

Symbole	Mot clé
	Linge ou câble triphasé
	la terre
	Arrivée
	Départ
	Disjoncteur
	Transformateur de puissance
	Transformateur de courant
	Court-circuit

Abréviation

Lés abréviations motionnées ci-dessus selon les normes internationale CEI27-1

BT	Basse tension	V
C	Capacité de la ligne ou câble	F/km
Dép	Départe	-
HT ou HTB	Haute tension	V
$I_{cc.min}$	Courent de court circuit minimum	A
$I_{cc.max}$	Courent de court circuit maximum	A
I_{cc}	Courent de court circuit	A
I_n	Courant nominal	A
I_1, I_2, I_0	Composantes symétrique de courant	A
I_{ph}	Courant de réglage fusible	A
JB	Jeu de barres	-
KV	Kilo Volte	KV
MT ou HTA	Moyenne tension	V
R	Résistance	Ω
R_f	Résistance de défaut	Ω
S	Section des lignes de câble	mm ²
S	Puissance apparente	VA
TC	Transformateur de mesure de courant	-
TT	Transformateur de mesure de Tension	-
THT	Très Haute tension	V
TP	Transformateur de puissance	-
U_{cc}	Tension de court-circuit d'un transformateur	%
V_1, V_2, V_0	Composantes symétriques de tension	V

Introduction générale

L'énergie électrique est un besoin vital pour l'homme dans sa vie de tous les jours. Elle est l'œuvre de l'implication étroite du maître qu'est l'homme intelligent et la machine qu'est l'esclave. Tous les deux se protègent mutuellement. Le maître ne fait pas confiance à la bête qui est la machine et développe des dispositifs de protection qui entrent dans le cadre de la protection de personnels et de la machine.

Le réseau électrique comprend trois grandes étapes, la production de l'énergie électrique, le transport et la distribution. Chaque équipement est doté d'un ensemble de protections souvent de nature complémentaire et à caractère instantané ou différé.

L'objectif primordial de la protection est d'éliminer le défaut par l'action instantanée. Selon le type du défaut, la protection intelligente émet un signal de déclenchement du disjoncteur, et par conséquent la mise hors tension de l'installation ou un signal de signalisation pour informer les opérateurs sur la nature du défaut et de prendre les mesures adéquates.

I.1 Introduction

Le principe du réseau de transport et distribution d'énergie électrique c'est d'assurer le mouvement de cette énergie (active ou réactive) en transitant par des lignes ou câbles et entre les différents postes de livraison et les consommateurs.[3].

I.2 Définition d'un réseau électrique

On appelle réseau électrique l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production (centrales électriques), vers les consommateurs d'électricité. (Voir la figure ci dessous).

Le 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 et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

On peut classer les activités des réseaux électriques sous trois rubriques principales qui sont, la production. Le transport et la distribution de l'énergie électrique. Examinons de plus près ces trois activités afin de donner une description sommaire.

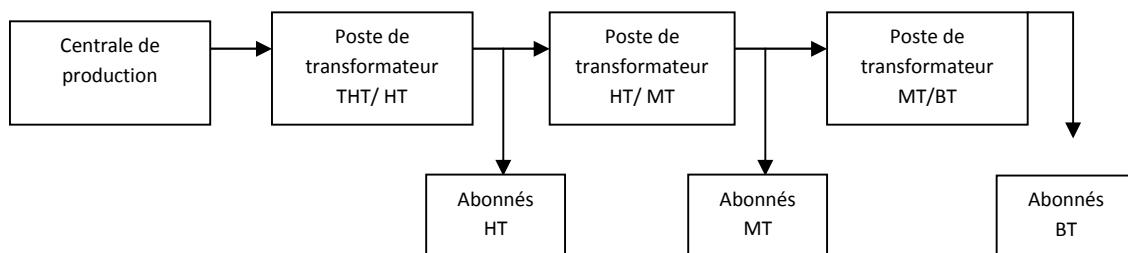


Figure I.1. Schéma général d'un réseau électrique

I.3 Les Différents types des réseaux électriques

Un réseau électrique est tout d'abord défini par le type de courant électrique utilisé pour une bonne distribution économique et offrant une sécurité totale.

On distingue différents types de réseaux

- D'après la topographie.
- D'après le niveau de tension.

I.3.1 Classification d'après la topographie

I.3.1.1 Les réseaux aériens

Ce sont des conducteurs nus de transport aérien suspendu sur des supports (poteaux, pylônes) afin d'acheminer l'énergie électrique en haute, moyenne ou basse tension.

I.3.1.2 Les réseaux souterrains

On les trouvent surtout dans les régions à forte densité de population, ils sont constitués par des câbles isolés par du papier imprégné ou immergé, de caoutchouc ou des composants chimique, le tout étant recouvert d'une enveloppe étanche en plomb ou en aluminium.

Ces câbles sont placés dans des tranchés caniveaux ou galeries.

I.3.1.3 Réseaux radiaux

Le transport d'énergie s'effectue vers un client par un seul parcours comme le montre le schéma ci-dessous, la distribution radiale, de par son nom est un réseau disposé en rayon de la source aux clients. En plus il a une bonne sécurité d'alimentation et une augmentation de la commodité, il nécessite des postes de distribution en basse tension, en plus il ne tient pas compte du changement de la technologie.

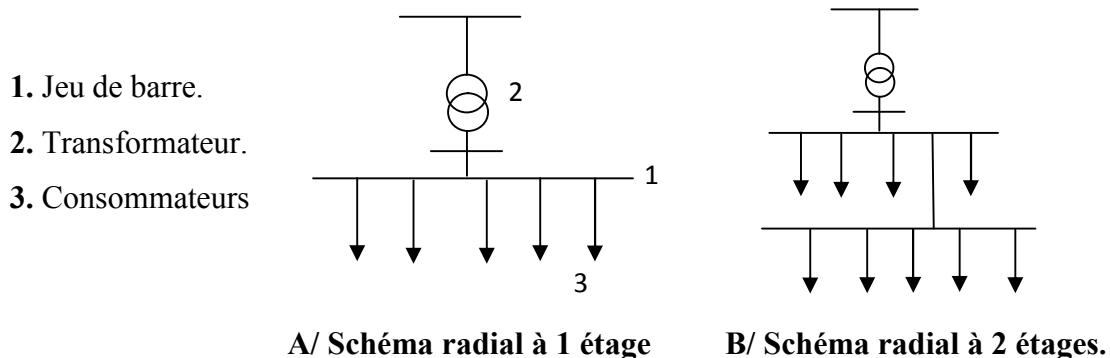


Figure I.2. Schéma d'un réseau radial

On utilise les réseaux radiaux dans les cas suivants

- Pour les récepteurs importants du point de vue de la catégorie d'alimentation.
- Pour les armoires de forces.
- Pour les récepteurs dont les locaux contiennent des explosifs.

I.3.1.4 Les réseaux magistraux

Le réseau magistral est représenté dans le schéma ci-dessous, rend les postes de distribution très simple et il tient compte des changements de processus technologique.

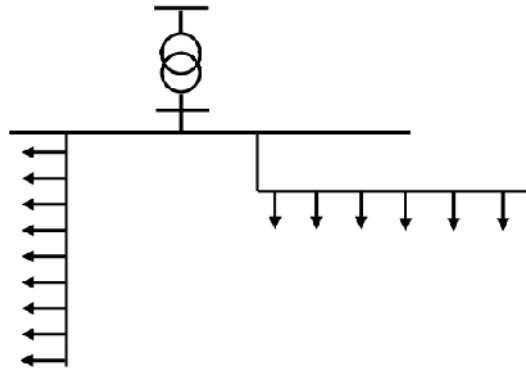


Figure I.3. Présentation d'un réseau magistral

I.3.1.5 Réseaux bouclés

Les distributions bouclées sont constituées par une ou plusieurs canalisations qui, partant d'une source et reviennent après avoir alimenté les divers abonnés. On peut constituer des boucles complexes ou maillées, comportant des transversales qui permettant de réaliser des boucles successives.

Le réseau bouclé à une réduction des pertes joules, et il a une connexion spéciale aux dérivation et que chaque dérivation peut au maximum alimenter deux circuits. (Voire Figure I.4).

Légende :

1. Sources.
2. Consommateurs.
3. Lignes de transport.
4. Jeu de barre.
5. Boucle.

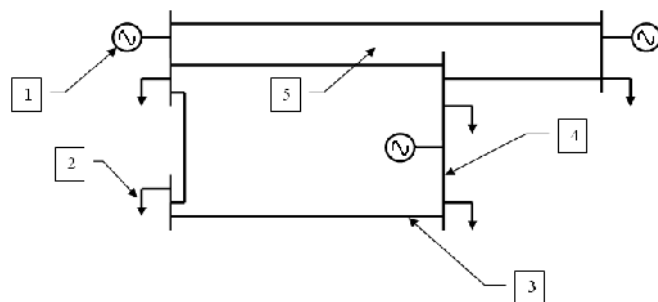


Figure I.4. Présentation d'un réseau

I.3.1.6 Réseaux maillés

Ce réseau se compose d'un ensemble de nœuds reliés par des lignes de transport d'énergie permettant le choix entre plusieurs routes d'une entrée du réseau vers une sortie.

Pour ce réseau on peut trouver des branches dont l'ouverture nous amène à un réseau radial, ce réseau radial est appelé arbre du réseau maillé, il est représenté par le schéma suivant [1].

Légende

1. Jeu de barre.
2. Transformateur.
3. Maille.
4. Nœud.
5. Consommateurs.

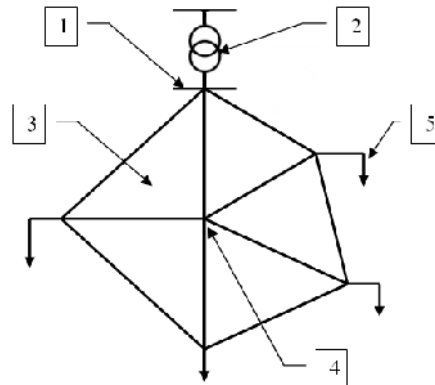


Figure I.5. Présentation d'un réseau maillé

I.3.2 Classification d'après le niveau de tension.

Les réseaux électrique hiérarchisés d'une façon générale, la plus part des pays mettent en ouvre

- Un réseau de transport : **THT** **220 à 800 KV**
- Un réseau de répartition : **HT ou HTB** **60 à 120 KV**
- Un réseau de distribution: **MT ou HTA** **5 à 36 KV**
- Un réseau de livraison de l'abonné **BT** **400 à 230 V**

➤ Exemple d'un réseau électrique

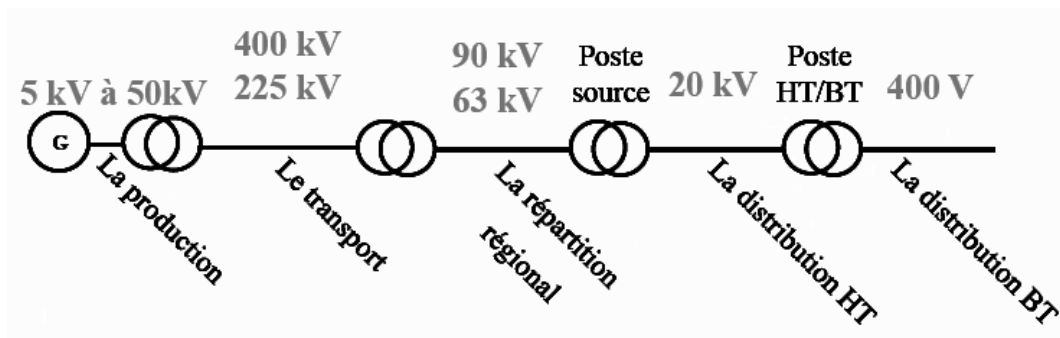


Figure I.6. Schéma simplifiée d'un réseau électrique

Les réseaux électriques sont partagés en trois types :

I.3.2.1 les Réseaux de Transport et d'interconnexion de l'énergie électrique

Après production, l'électricité est transportée à haute tension mais elle est utilisée à domestique à basse tension. On utilise alors après le groupe turboalternateur de la centrale un transformateur élévateur de tension et avant l'utilisation domestique, on utilise un transformateur abaisseur de tension. [3][4]

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

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

➤ **Lignes électriques**

Nous distinguons deux types de lignes électriques : les lignes de transports et les lignes de distribution.

➤ **Lignes de transport**

Elles ont une très haute tension (THT) (1500 à 4000KV) ou bien une haute tension (60 à 90 KV).

➤ **Lignes de distribution**

Elles ont une moyenne tension (5 à 36KV) ou une faible tension (220 à 300V).[1].

I.3.2.2 Les Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation. [3]

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

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

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

I.3.2.3 les Réseaux de distribution de l'énergie électrique

L'énergie qui arrive à proximité d'un centre de consommation doit, pour être Distribuée aux abonnés, subir un abaissement de tension, puis être acheminée vers des réseaux de distribution à moyenne tension (jusqu'à une vingtaine de KV), elle est ensuite convertie en basse tension et distribuée.

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique [1][5].

➤ les Réseaux de distribution à moyenne tension

- ✓ HTA (30 et 10 kV le plus répandu).
- ✓ Neutre à la terre par une résistance.
- ✓ Limitation à 300 A pour les réseaux aériens.
- ✓ Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains.
- ✓ Réseaux souterrains en boucle ouverte ou fermer.

➤ les Réseaux de distribution à basse tension

- ✓ BTA (230 / 400 V).
- ✓ Neutre directement à la terre.
- ✓ Réseaux de type radial, maillés et bouclés.

I.4 Les composants d'un réseau électrique

Un réseau électrique est composé généralement d'une source, des conducteurs et des éléments de consommation, aux quels il faut ajoutés d'autres éléments comme les dispositifs de protection, de commandes, de réglages ou la transformation.

I.4.1 Les conducteurs

En électricité, un conducteur est un matériau qui contient des porteurs de charge électrique mobiles, et offrant une faible résistance au passage du courant électrique.

Par extension, un conducteur est un composant électrique de faible résistance, servant à véhiculer le courant d'un point à un autre. Par cette faible résistance on distingue les bons matériaux de conduction telle que l'or, le cuivre et l'aluminium.

Dans le réseau de transport on utilise en générale des conducteurs en aluminium ou en alliage aluminium acier.

Parmi les raisons d'utiliser l'aluminium c'est un bon conducteur d'énergie, moins coûteux et léger pour être porté par les supports (pylônes, poteaux).

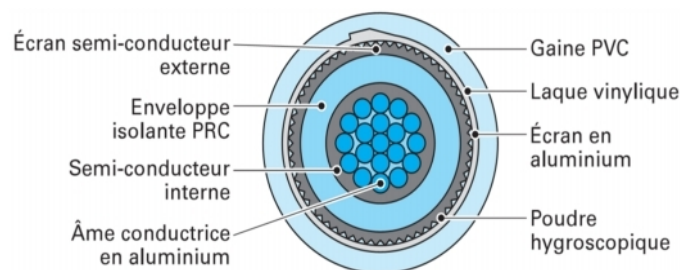


Figure I.7. Câbles de distribution moyenne tension

I.4.2 Les supports

Les supports sont utilisés dans le réseau électrique pour porter les conducteurs d'énergie. Il existe deux principaux types de support

- support bouts soudé en acier (BS)
- support en béton.

En haute tension les supports utilisés sont appelés pylônes, qui sont en acier constitué par un assemblage de bouts métallique par des boulons et des écrous généralement, assembler en formes géométriques pour mieux se tenir sur la terre à cause de leurs hauteurs.

Dans les réseaux MT et BT les supports utilisés sont en Acier ou bétonné, réseau MT sont en acier généralement parce qu'ils sont moins chère que les supports bétonnés, et ces dernier sont utilisés en BT dans les zones urbaines pour éviter la chute des lignes en cas d'accident.

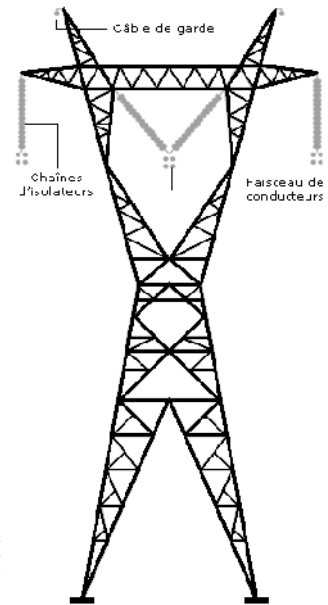


Figure I.8. Pylône chat.

I.4.3 Les isolateurs

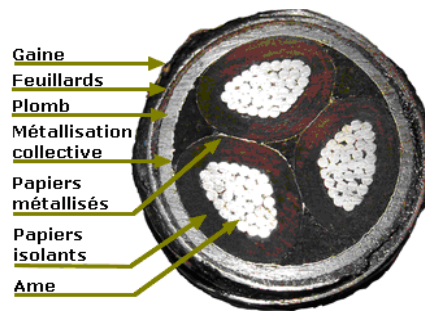
L'isolation entre les conducteurs et les supports est assurée par des isolateurs connus sous le nom de CTV (capot tige verre) (voir la figure I.9).

Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique ou en matériau synthétique. Les isolateurs verre ou céramique ont en général la forme d'une assiette, et associée entre eux pour former une chaîne isolante. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre de CTV dans la chaîne est important. Pour 30kv on utilise 3 CTV pour une seule phase et entre 20 à 25 pour les réseaux de 220kv.



Figure I.9. Présentation d'un capot Tige verre.

En plus dans les types d'isolation utilisés dans le réseau, il y a l'isolation des câbles souterrains. Il existe plusieurs types de câbles souterrains en vue du niveau de la tension, et notamment de leurs types d'isolement (voir la figure I.10).



**Figure I.10. Présentation de l'isolation
D'un câble souterrain.**

I.4.4 Les poste de transformation

Un poste de transformation se compose d'un élément essentiel qui est le dispositif d'élévation ou d'abaissement de la tension transporté par le réseau vers les zones de consommation, et qui sont généralement des transformateurs abaisseurs qu'on les trouve sous deux types de postes.

I.4.4.1 Poste maçonné

C'est une construction maçonnée qui contient un transformateur, un jeu de barre pour donner un départ vers une autre zone de consommation et un répartiteur ou une armoire pour donner plusieurs voies de distribution BT avec un dispositif de protection. (Voir la figure I.11).

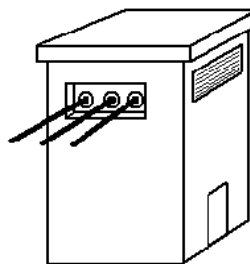
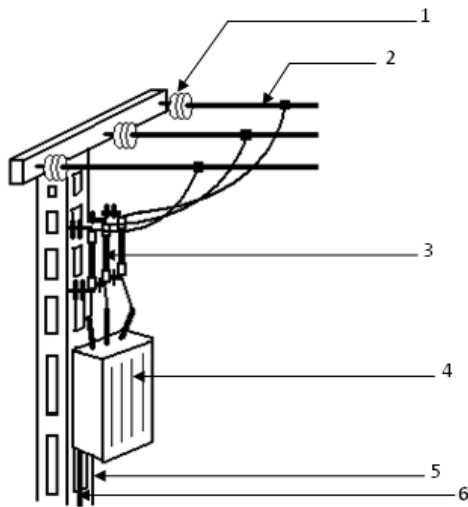


Figure I.11. Poste maçonné.

I.4.4.2 Poste aérien accroché (ACC)

C'est un transformateur aérien accroché à un support MT avec un disjoncteur. On trouve ces types de postes dans les zones de consommation rurales ou MT (voir la figure I.12).



Légende

- 1- CVT.
- 2- Ligne M.
- 3- Fusible à un disjoncteur en bas du support.
- 4- Transformateur.
- 5- Support BS.
- 6- Linge BT (câble torsadé).

Figure I.12. Post ACC.

I.4.5 Les dispositifs de protection

La parfaite maîtrise des réseaux électriques exige la possession de tous les moyens nécessaires de la commande, le contrôle et la protection. Ces dernières ont pour mission de préserver les éléments du réseau des avaries survenues. Parmi les appareils de protections à installer dans un réseau d'énergie électrique, on trouve les disjoncteurs, les fils de gardes et les éclateurs...etc.

I.4.6 Les appareille de commande

Les appareils de commande et d'interruption sont en partie des dispositifs de protection, ils ont un fonctionnement manuelle, automatique ou télécommandé comme les IAT, (Interrupteur Aérien Télécommandé) et les IATCT (Interrupteur Aérien Télécommandé à Creux de Tension). [1]

I.5 Conclusion

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

II.1 Introduction

Le présent article ne traite que des installations à courant alternatif triphasé. Les appellations haute tension et moyenne tension, utilisées dans le langage courant, sont employées. Par contre, les abréviations sont celles définies dans l'arrêté technique du 2 avril 1991, en l'occurrence HTB pour les tensions supérieures à 50 kV (haute tension) et HTA pour les tensions comprises entre 1 et 50 kV (moyenne tension). [13]

II.2 Définition

Selon la définition de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), un poste électrique est la partie d'un réseau électrique, située en un même lieu, comprenant principalement les extrémités des lignes de transport ou de distribution. Un poste électrique est donc un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission, puis de la redescendre en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels). Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution. On parle généralement de sous-station.

Architecture des réseaux électriques HT et MT

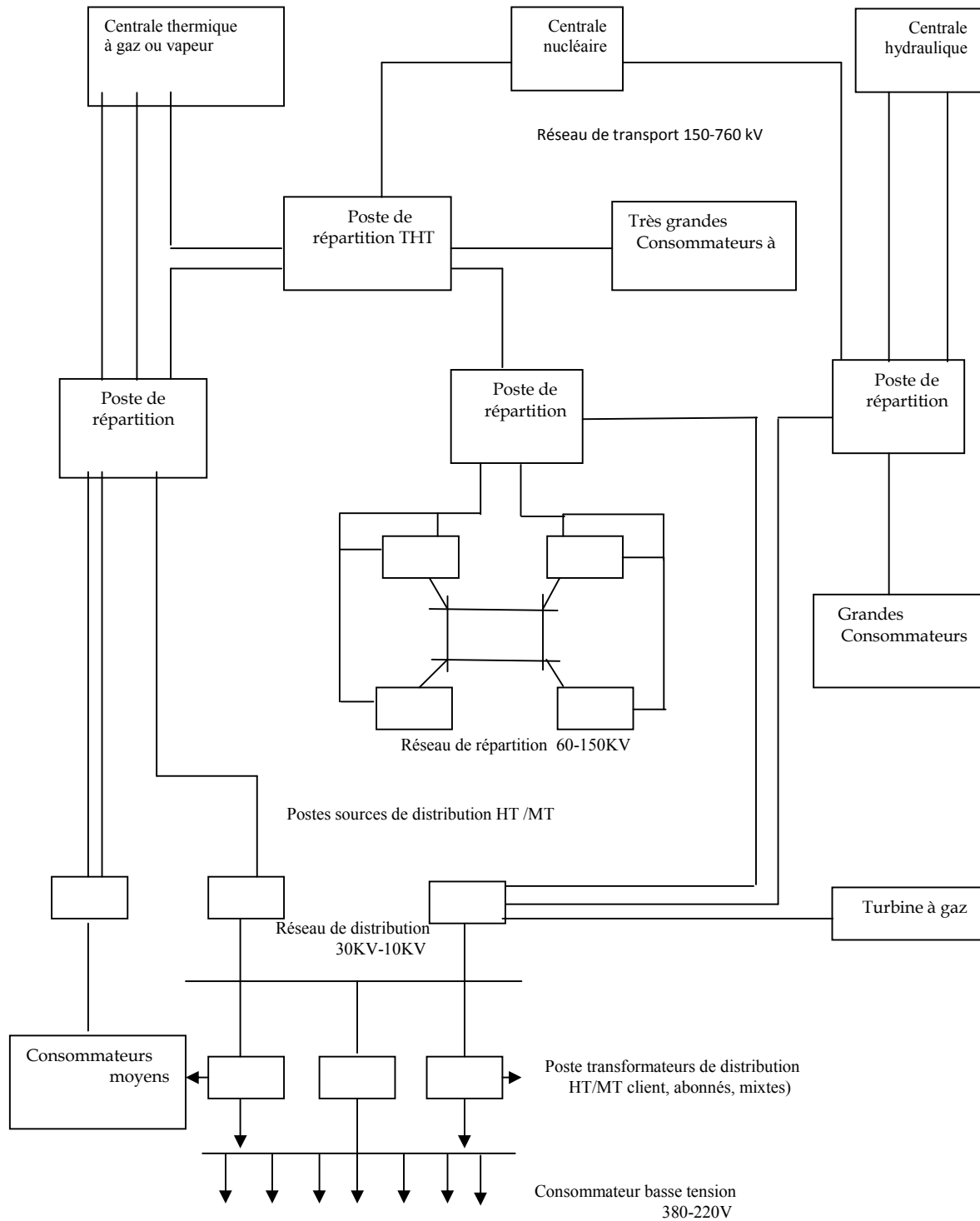


Figure II.1. Schéma de principe d'un réseau d'énergie électrique

II.3 Architectures des postes HTB

Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de livraison est comprise entre

- D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- D'autre part, la borne aval des transformateurs HTB/HT.
- Indice O pour « position ouvert » et F pour « position fermé ».

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants

II.3.1 Simple antenne

➤ Architecture

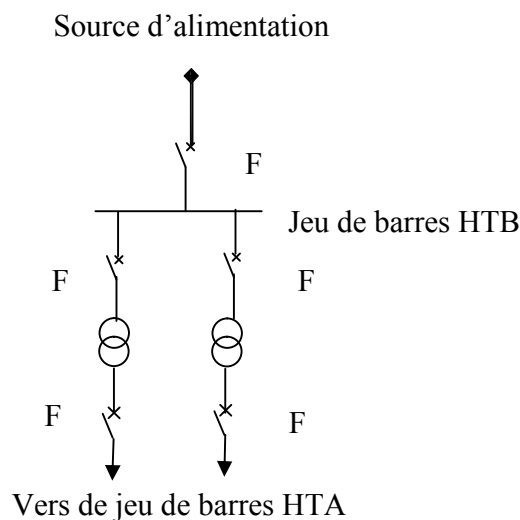


Figure II.2. Architecture Simple antenne.

➤ Mode d'exploitation Normale

Les transformateurs HTB/HTA sont alimentés par un seul jeu de barre HTB.

➤ Mode d'exploitation Perturbé

En cas de perte d'une source d'alimentation, les transformateurs HTB/HTA sont mis hors service.

- **Avantage** : Coût minimal.
- **Inconvénient** : Disponibilité faible.

II.3.2 Double antenne

➤ Architecture

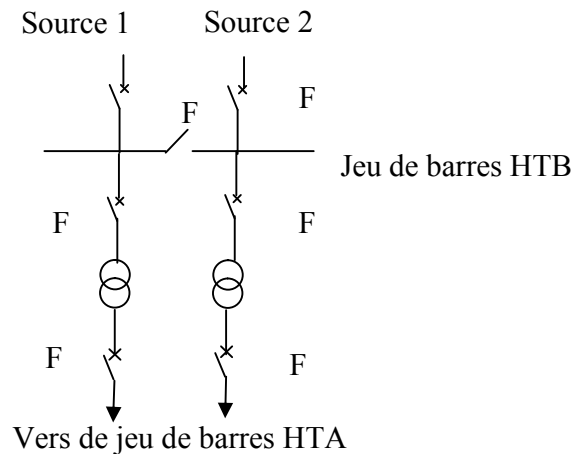


Figure II.3. Architecture Double antenne.

➤ Mode d'exploitation Normal

- Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage.
- Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.

➤ Mode d'exploitation Perturbé

- En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

➤ Avantages

- Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.
- Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci.

➤ Inconvénients

- Solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.
- Ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci.

II.3.3 Double antenne avec double jeu de barres

➤ Architecture

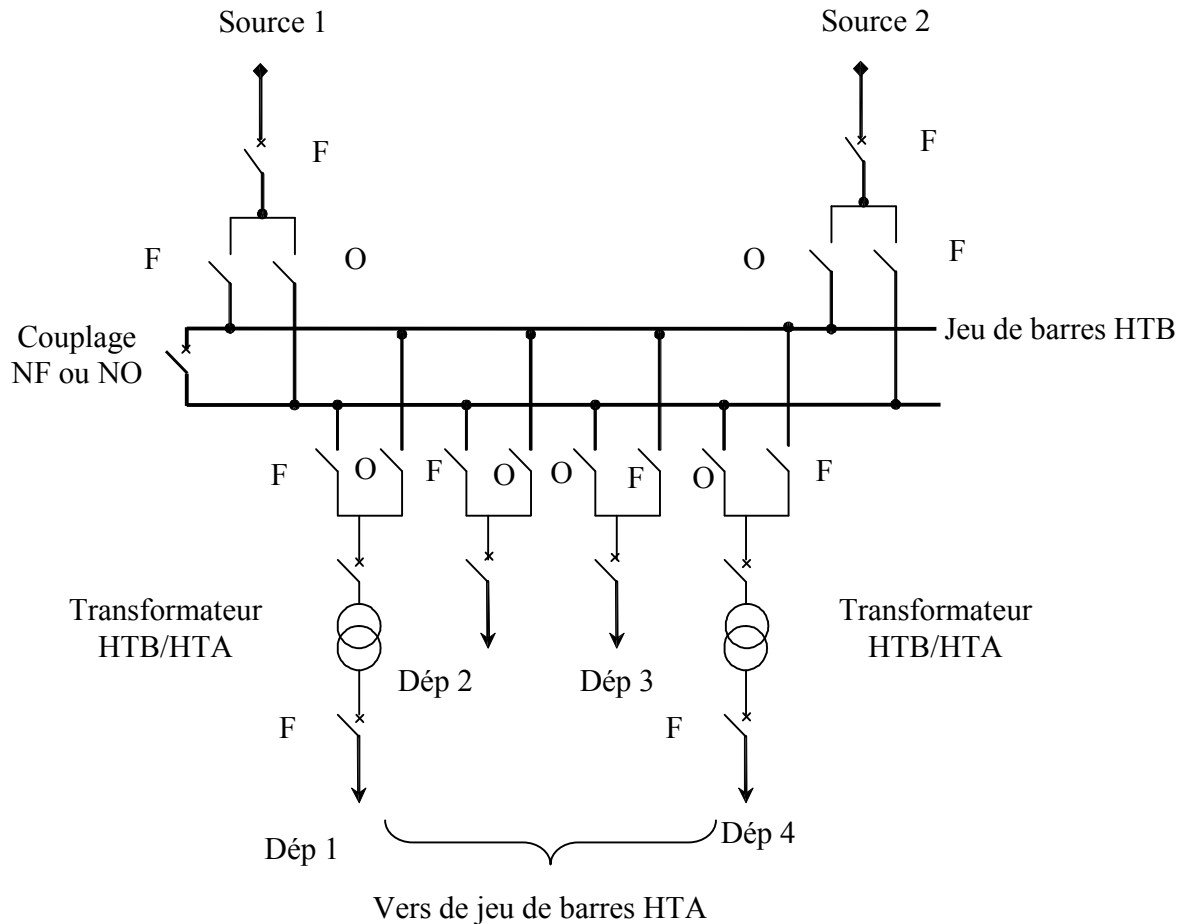


Figure II.4. Architecture double antenne avec double jeu de barres

➤ Mode d'exploitation Normal

- La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JB1 et les départs Dép 1 et Dép 2.
- La source 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JB2 et les départs Dép 3 et Dép 4.
- Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

➤ Mode d'exploitation Perturbé

- En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.
- En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.

➤ **Avantages**

- Bonne disponibilité d'alimentation.
- Très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges, et pour la maintenance des jeux de barres.
- Possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manœuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

➤ **Inconvénient**

- Surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres.

II.4 Architecture du réseau de distribution HTA

Les réseaux de distribution sont en général conçus de façon hiérarchisée dans le sens des transits de puissance.

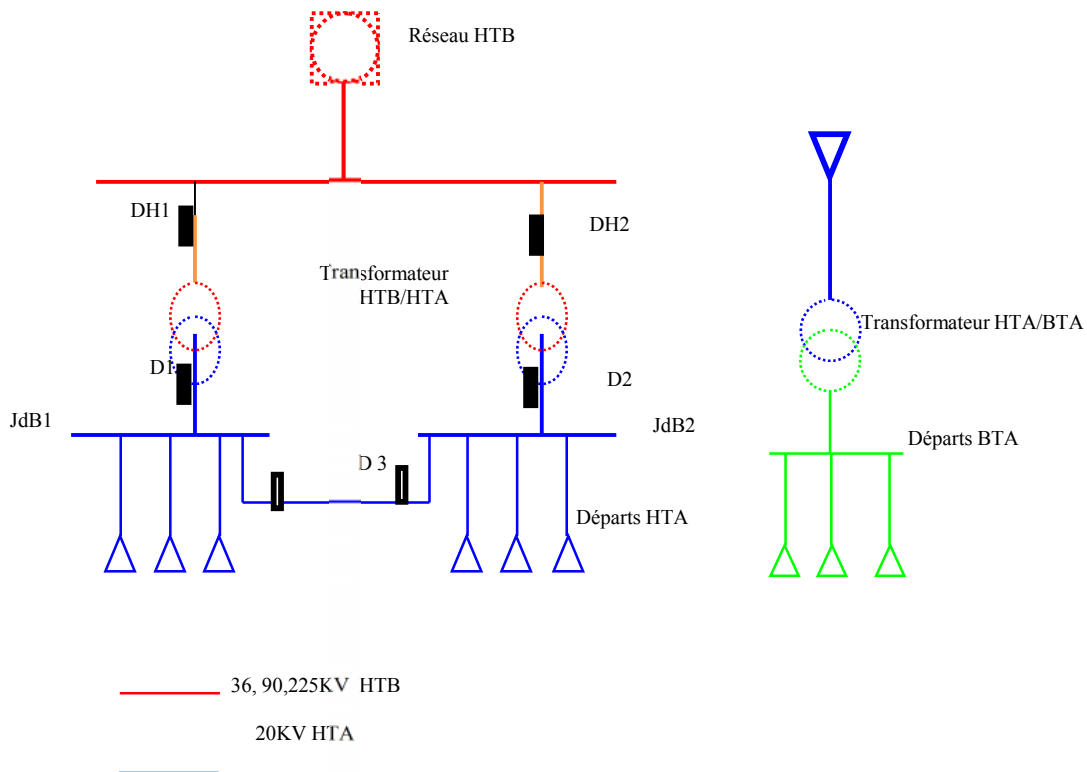


Figure II.5. Architecture générale du réseau de distribution HTA

II.5. Les postes sources HTB/HTA

Les postes sources, en général alimentés par le réseau de répartition 63 kV ou 90 kV (quelquefois directement par le réseau de transport à 225KV constituent l'interface entre les réseaux de transport/répartition et les réseaux de distribution. [4]

Ils sont constitués en phase initiale d'un transformateur alimenté par une arrivée HTB (HT1) et alimentant lui-même une ou deux rames, ou jeux de barres (Figure II.6.1.). En seconde phase, avec l'augmentation des charges à desservir, un second transformateur est ajouté (Figure II.6.2.), et le poste est généralement raccordé à une deuxième arrivée HTB (HT2) appelée "garantie ligne". En phase finale, un troisième transformateur (et quelquefois plus) est Ajouté en double attaché (Figure II.6.3.). En exploitation normale, un transformateur peut alimenter plusieurs rames, Le second étant en secours; ou bien chaque transformateur alimente une rame ou une demi-rame. Les Transformateurs ne sont jamais en parallèle, sauf de courts instants pendant un changement de Schéma d'exploitation du poste.

Les départs HTA sont regroupés par demi-rame en fonction de leur nature (aérienne ou Souterraine) et de la similarité de leur courbe de charge, c'est-à-dire du type de clients Raccordés.

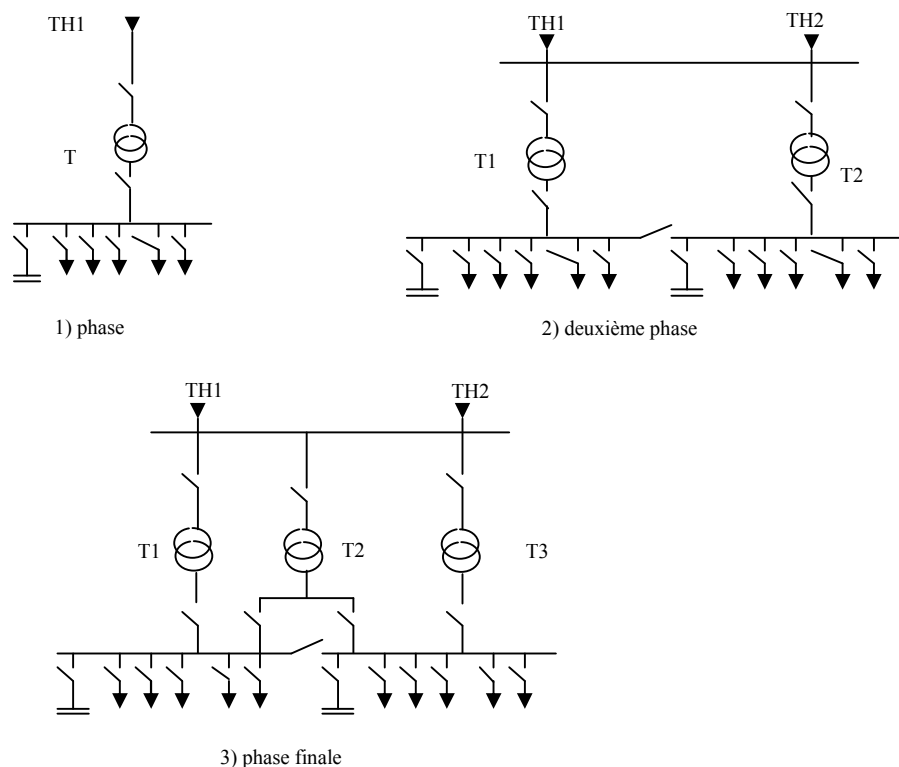


Figure II.6. Schéma de principe des postes sources HTB/HTA

- Des disjoncteurs sont placés en amont (DH1 et DH2) et en aval (DM1 et DM2) des transformateurs pour les protéger et éviter que les défauts du poste ne remontent au niveau HTB.
- Une interconnexion entre les jeux de barre HTA permet de les coupler (en actionnant les disjoncteurs D3) lorsqu'une branche du poste est en maintenance.

II.6 Les lignes HTA

Le réseau HTA une structure arborescente radiale le plus souvent bouclable par une autre demi-rame ou un autre poste source pour la sécurité d'exploitation. Il est en général constituée d'une artère ou ossature principale et de dérivations. Selon la densité des charges à desservir, Le réseau de distribution centralisé soit en lignes aériennes, soit en câbles souterrains. [4]

➤ Les réseaux HTA aériens

Les zones rurales à faible densité de charge sont alimentées par des lignes HTA aériennes en simple dérivation (Figure II.7.1.), traditionnellement moins coûteuses que les câbles enterrés. Raison de l'éloignement des charges à desservir.

➤ Les réseaux HTA souterraines

Les zones urbaines ou mixtes forte densité de charge sont alimentées par des câbles HTA enterrés en coupure d'artère (Figure II.7.2.) ou en double dérivation (Figure II.7.3.). En double dérivation, les postes HTA/BT sont normalement alimentés par le câble de travail (CT), le câble de secours (CS) permet de garantir une bonne continuité de service en cas de défaut. La technique en coupure d'artère est moins coûteuse que la précédente et permet une isolation rapide des défauts. (Voir la figure II.7.).

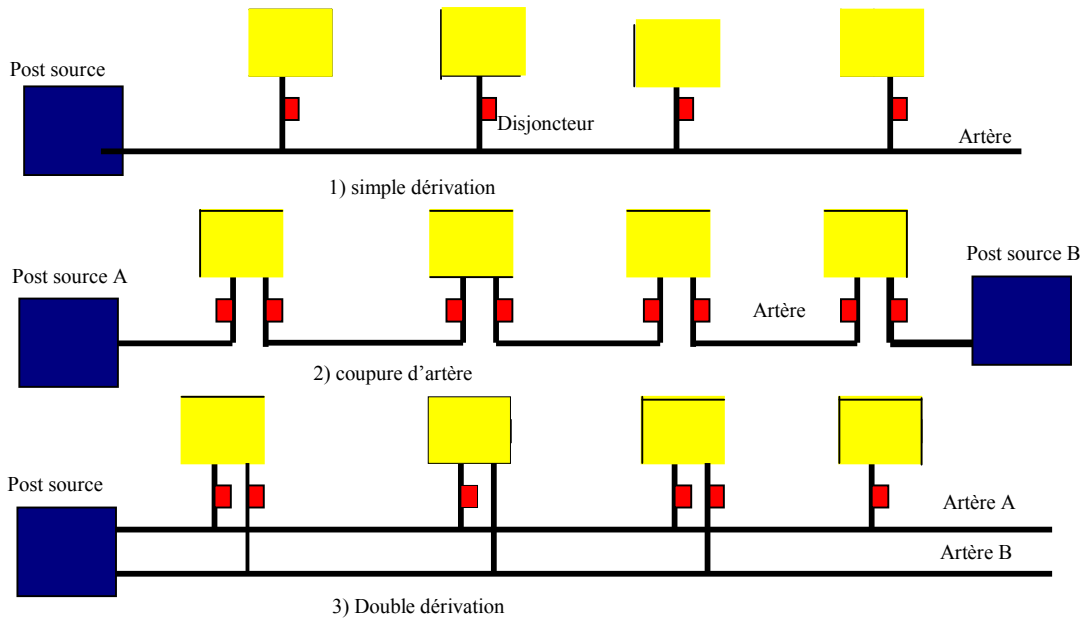


Figure II.7. Type de raccordement du post MT

II.7 Types d'architectures du réseau HTA

Nous allons identifier les principales structures de réseau HTA permettant d'alimenter les tableaux secondaires et les transformateurs HTA/BT. La complexité de la structure diffère suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

- les schémas électriques des réseaux HTA les plus souvent rencontrés sont

II.7.1 Réseau radial à simple antenne

➤ Architecture

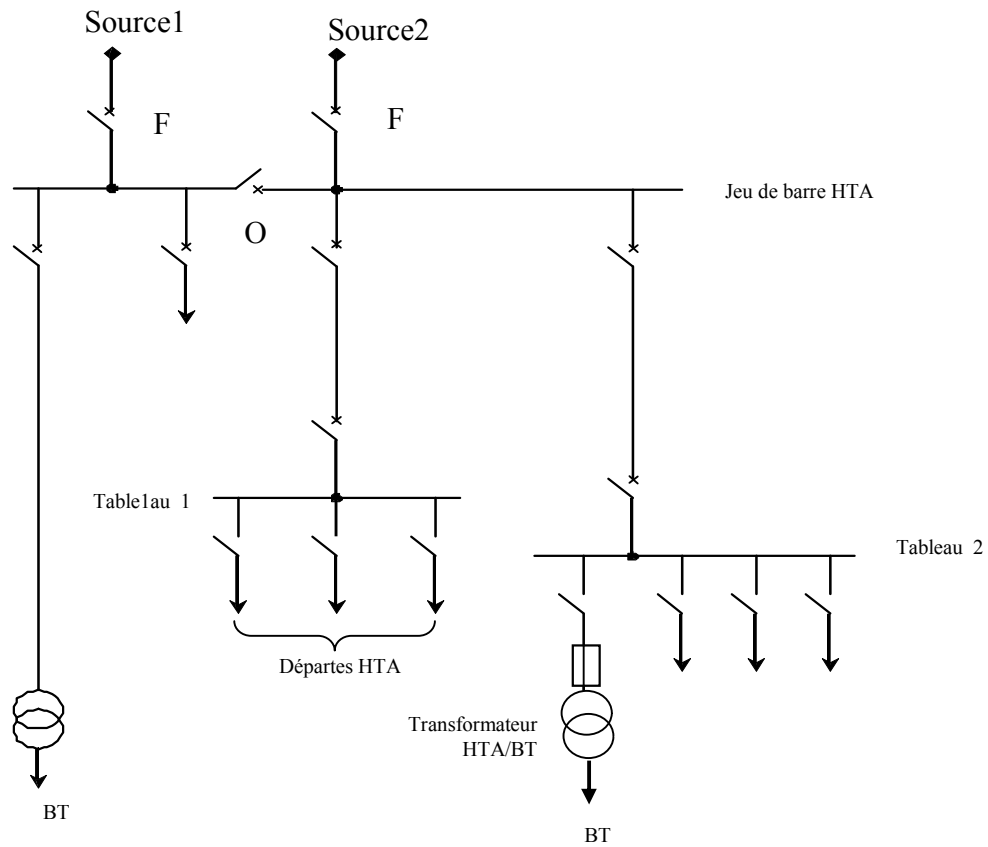


Figure II.8. Réseau HTA radiale simple antenne

➤ Fonctionnement

Les tableaux 1 et 2 les transformateurs sont alimentés par une source, il n'y a pas de solution de dépannage.

- cette structure est préconisée lorsque les exigences disponibilité sont faibles, elle est souvent retenue pour les réseaux de cimenterie.

II.7.2 Réseau radial en double antenne sans couplage

➤ Architecture

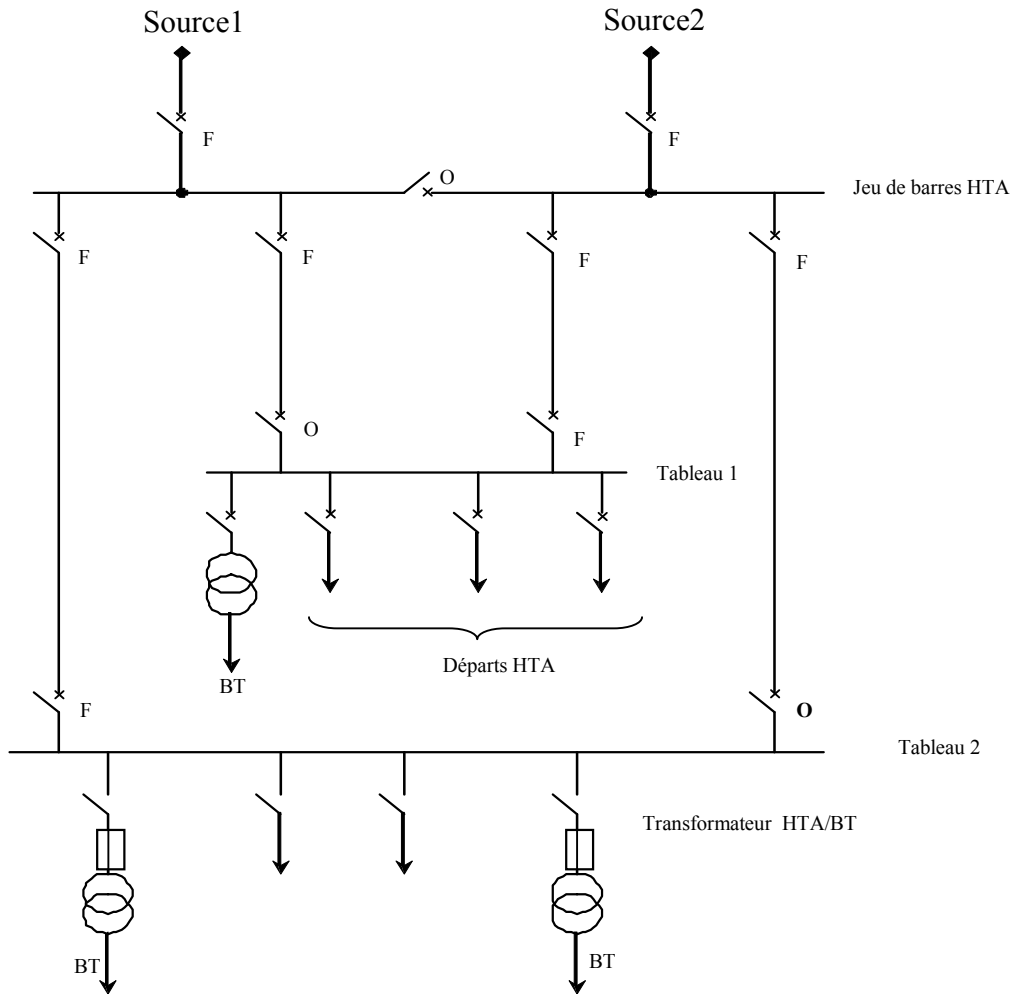


Figure II.9. Réseau HTA radial en double antenne sans couplage.

➤ Fonctionnement

- Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par 2 sources sans couplage, l'une en secours de l'autre.
- La disponibilité est bonne.
- L'absence de couplage des sources pour les tableaux 1 et 2 entraîne une exploitation moins souple.

II.7.3 Réseau radial en double antenne avec couplage

➤ Architecture

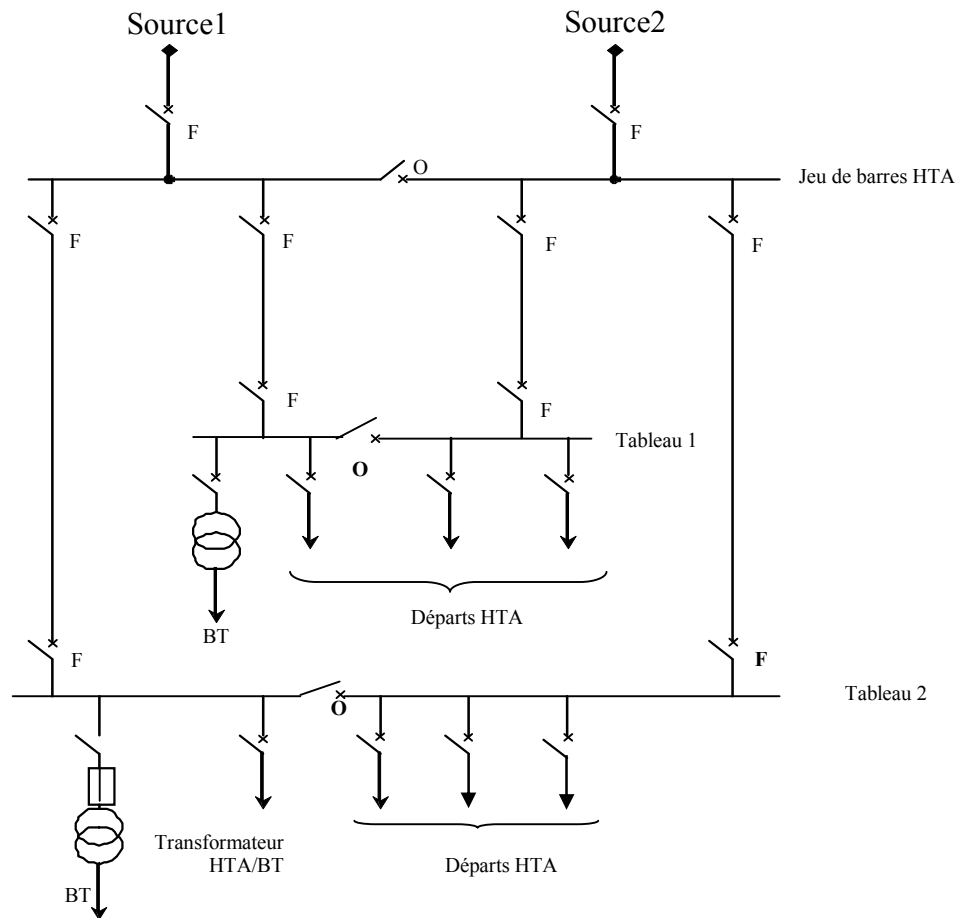


Figure II.10. Réseau HTA radial en double antenne avec couplage.

➤ Fonctionnement

- les tableaux 1et 2 sont alimentés par 2 sources avec couplage, en fonctionnement normal, les disjoncteurs de couplage sont ouverts.
- Chaque demi-jeu de barres peut être dépanné et être alimenté par l'une ou l'autre des sources.
- Cette structure est préconisée lorsqu'une bonne disponibilité est demandée, elle est souvent retenue dans les domaines de la sidérurgie et de la pétrochimie.

II.7.4 Réseau en boucle

- Cette solution est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes.
- Il existe deux possibilités suivant que la boucle est ouverte ou fermée en fonctionnement normal.

❖ **Réseau en boucle ouverte**

➤ **Architecture**

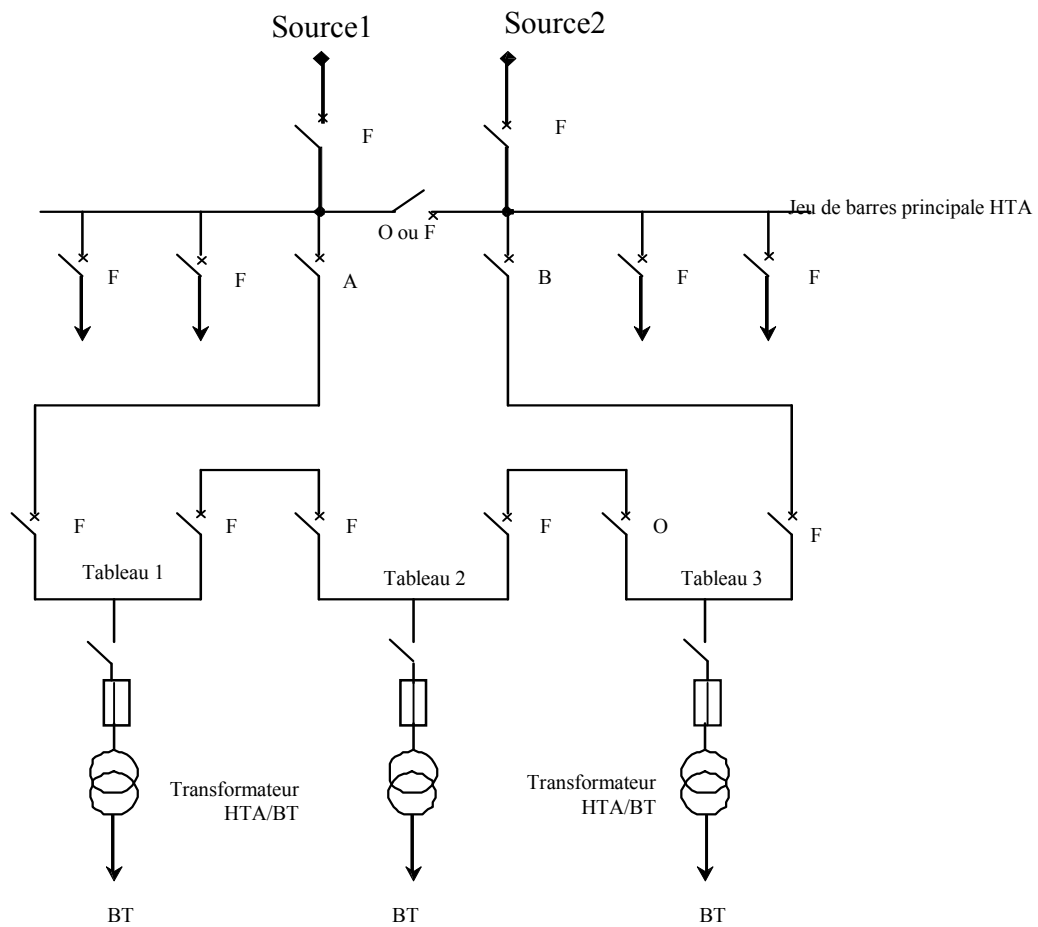


Figure II.11. Réseau HTA radial en boucle ouvert.

➤ **Fonctionnement**

- Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteur.
- Les appareils de coupure des tableaux 1,2 et 3 sont des interrupteurs.

Architecture des réseaux électriques HT et MT

- En fonctionnement normal, la boucle est ouverte (elle est ouverte au niveau du tableau 2).
- Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources.
- Un défaut sur un câble ou la perte d'une source est palier par une reconfiguration de la boucle.

Cette reconfiguration engendre une coupure d'alimentation de quelques secondes si un automatisme de reconfiguration de boucle est installé. La coupure est d'au moins plusieurs minutes ou dizaines de minutes si la reconfiguration de boucle est effectuée manuellement par le personnel d'exploitation.

❖ Réseau en boucle fermée

➤ Architecture

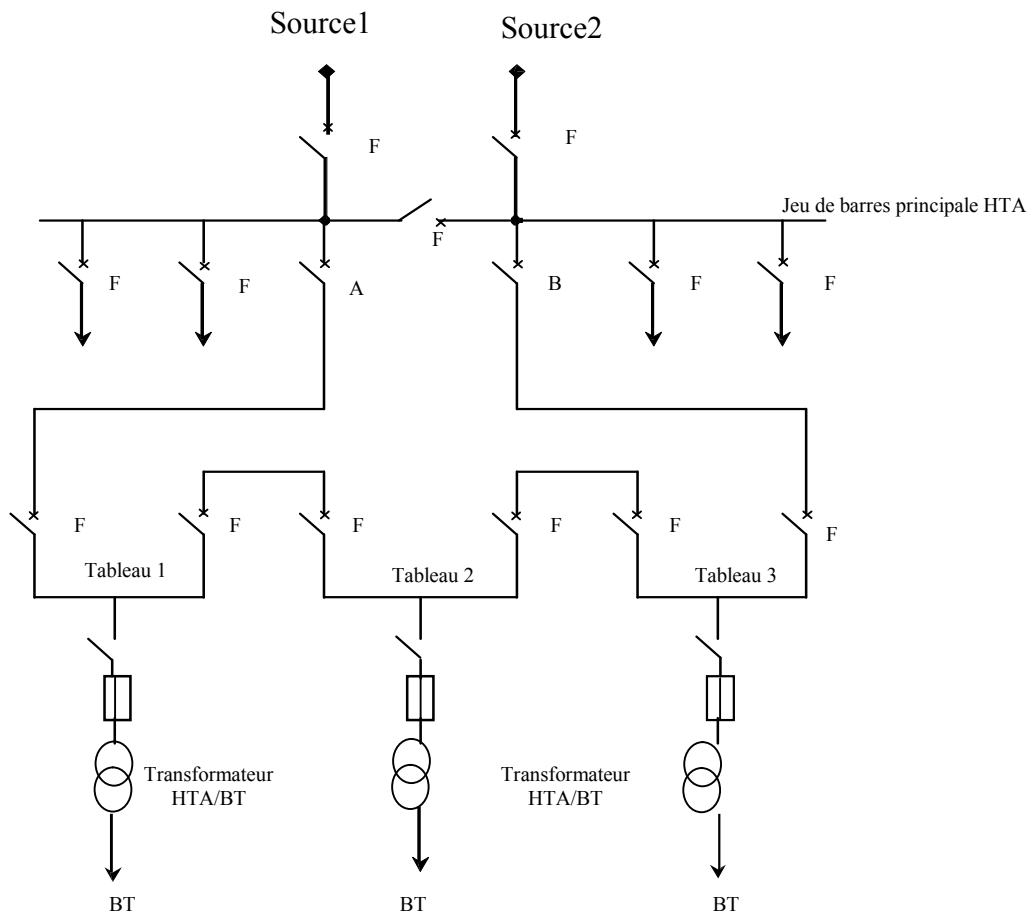


Figure II.12. Réseau HTA radial en boucle fermée.

➤ **Fonctionnement**

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

❖ **Réseau en double dérivation**

➤ **Architecture**

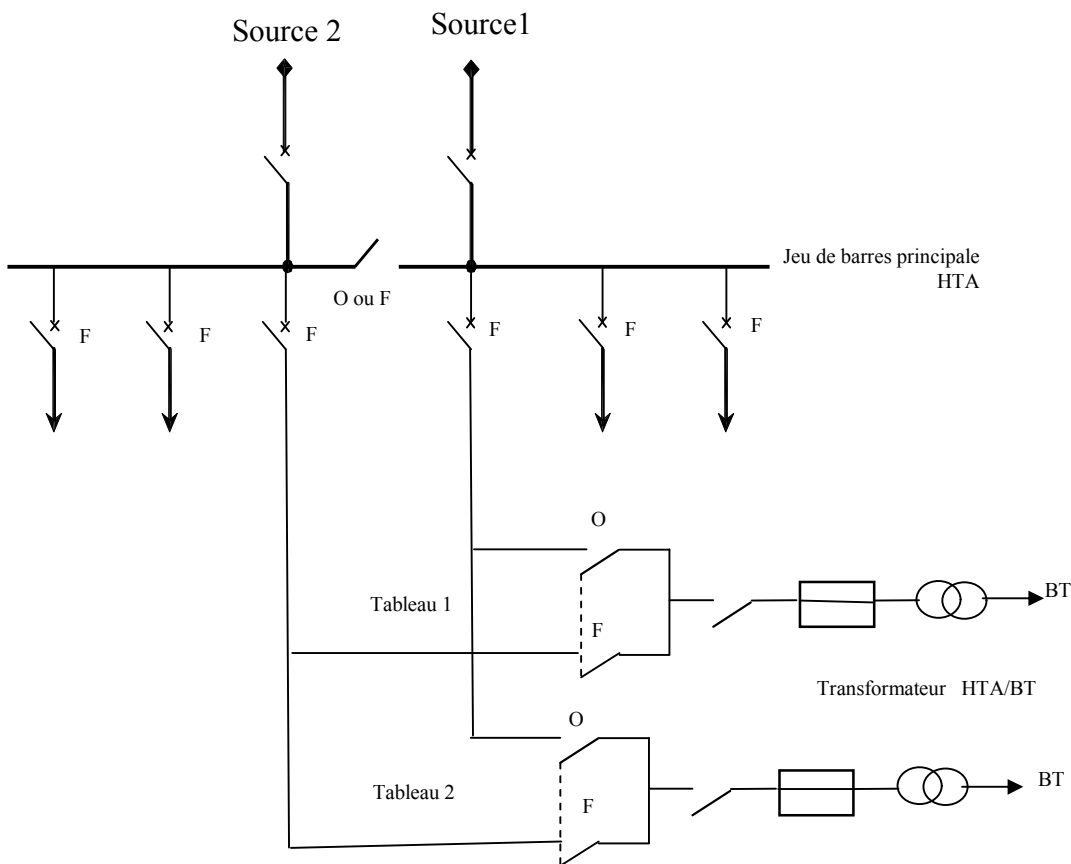


Figure II.13. Réseau HTA radial en double dérivation.

➤ **Fonctionnement**

- Les tableaux 1,2 et 3 peuvent être dépannés et être alimentés par l'une ou l'autre des sources indépendamment.
- Cette structure est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures limitées et nécessitant une très bonne disponibilité.

II.8 Architectures des post HTA/BT supérieur à 630 KAR

Ce type de postes HTA/BT sont caractérisé par [3]

- Les tensions d'entrée son 10 ou 30 KV.
- les tensions de sortie (utilisation) sont 230/400V.
- Section du câble d'alimentation est 120 mm.
- Puissances $S > 630$ KVA.
- Mode d'alimentation.
- Souterrain coupure d'artère.
- Aérien dérivation.
- Une cellule de protection générale par disjoncteur HTA.
- Une cellule de comptage de l'énergie (tension et courant).
- Protection du transformateur par fusible.

II.9 Tableau générale basse tension (TGBT)

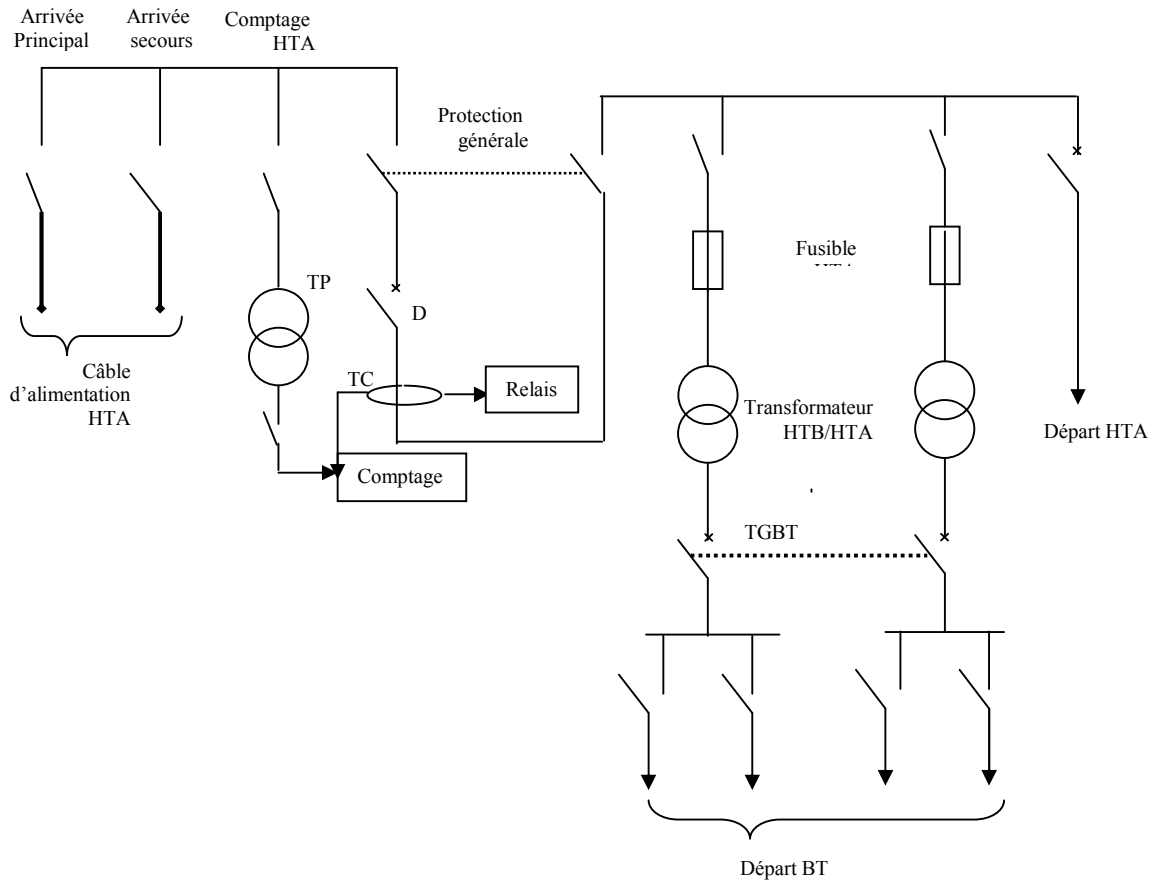


Figure II.14. Architecture générale d'un post abonné HTA/BT

II.10 les perturbations dans les réseaux électriques

Elles sont une gêne pour les utilisateurs et les fournisseurs de l'énergie électrique sans qu'il y ait de véritable coupure du réseau électrique. D'une façon générale, quelle que soit la perturbation, les effets peuvent être classés de deux façons différentes.

- Effets instantanés

Manœuvres intempestives de contacteurs ou d'organes de protection, mauvais fonctionnement ou arrêt d'une machine. L'impact de la perturbation est alors directement remarquable sur le plan financier et technique.

- **Effets différés**

Pertes énergétiques, vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques supplémentaires engendrés par les perturbations. L'impact financier est difficilement quantifiable.

L'évolution de la technologie a permis le développement et la généralisation des automatismes, des variateurs de vitesse dans l'industrie, des systèmes informatiques.

Ces équipements ont la particularité d'être à la fois sensibles aux perturbations de la tension et générateurs de perturbations.

Leur multiplicité au sein d'un même procédé exige une alimentation électrique de plus en plus performante en termes de continuité et de qualité. En effet, l'arrêt temporaire d'un élément de la chaîne peut provoquer l'arrêt de l'outil de production (traitement de l'eau, imprimerie, pétrochimie...) ou de service (banques, télécommunications...). [5]

- Les courts-circuits.
- Les surtensions.
- Les surcharges.
- Les oscillations.
- Les déséquilibres.

II.10.1 Les courts-circuits

Le courant de court-circuit de nature instantanée est une surintensité produite par un défaut d'impédance dont la valeur devient négligeable entre deux points du même circuit. [4]

II.10.1.1 les causes

Les causes susceptibles de produire un courant de court-circuit sont

- **Sur lignes aériennes**

Coup de foudre, humidité (brouillard, rosée) dépôts conducteurs sur les isolateurs (charbon, sel), surtensions engendrées lors de certaines manœuvres, jet de pierres, chutes de branches, balancement de conducteurs, rupture de manchons de raccordement, rupture de conducteurs, Contact intempestif, claquage d'isolant, fausse manœuvre,... etc.

- **Lignes souterraines**

Les câbles souterrains sont exposés aux agressions extérieures (d'engins mécaniques de terrassement par exemple) qui entraînent systématiquement des court-circuits permanents.

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

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

II.10.1.2 Caractéristiques

Les courts-circuits sont caractérisés par leur forme, leur durée et l'intensité du courant. Les ingénieurs en réseaux électriques utilisent souvent le terme « défaut » voir la figure ci dessous.

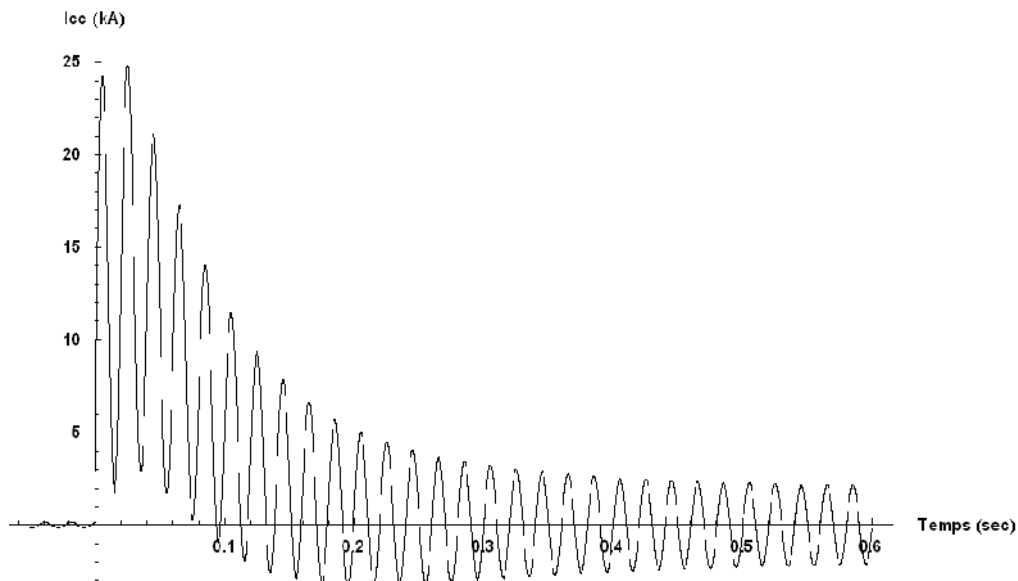


Figure II.15. Présentation caractéristique des courts-circuits

II.10.1.3 Types

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être .

- **Monophasé**

entre une phase et la terre ou une masse 80 % des cas. [4]

- **Biphasé**

entre deux phases raccordées ensemble, peut être un court-circuit biphasé mis à la terre ou biphasé isolé 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés.

- **Triphasés**

entre trois phases de la ligne ou les trois phases et la terre 5 % seulement dès l'origine.

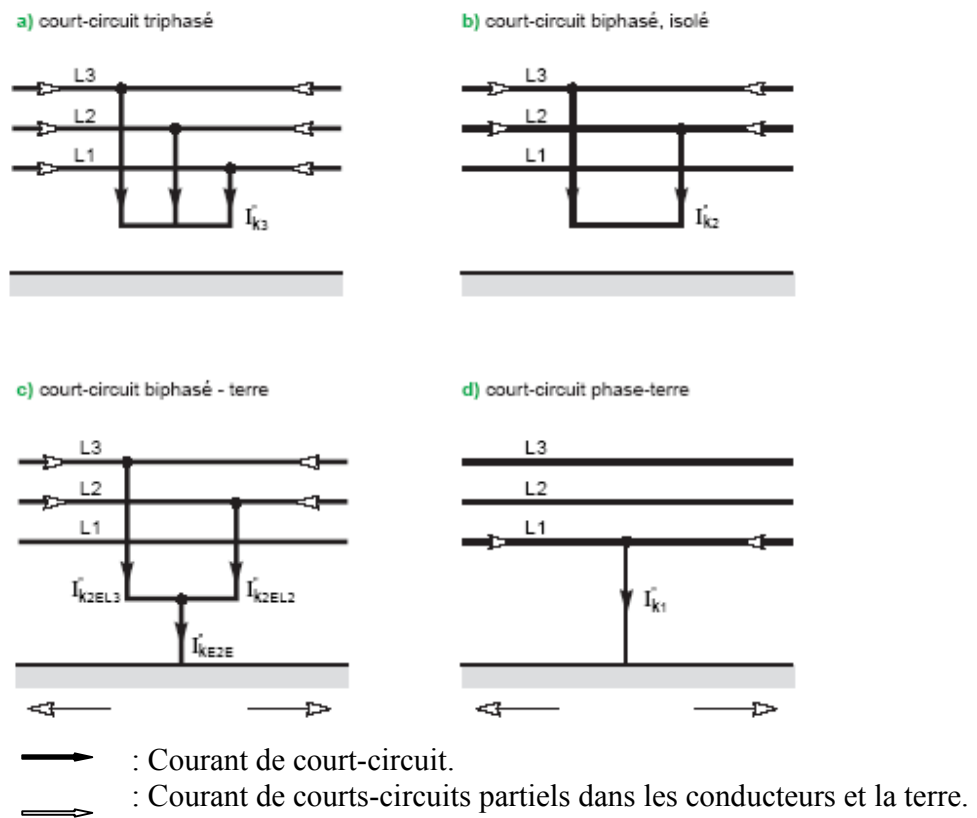


Figure II.16. Les différents courts- circuits et leurs courants

II.10.1.4 Nature

➤ **Court- circuits fugitifs**

Les court- circuits fugitifs nécessitent une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de seconde).

➤ **Court- circuits permanents**

Ces court- circuits provoquent un déclenchement définitif qui nécessite l'intervention du personnel d'exploitation pour la localisation du défaut et remise en service de la partie saine.

➤ **Court- circuits auto-extincteurs**

C'est ceux qui disparaissent spontanément en des temps très courts sans provoquer de discontinuités dans la fourniture d'énergie électrique.

➤ **Court -circuit semi permanents**

Ces court- circuits exigent pour disparaître une ou plusieurs coupures relativement longues du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dizaines de secondes) sans nécessité d'intervention du personnel d'exploitation. [3]

✓ **Conséquences**

Elles sont variables selon la nature et la durée des défauts, le point concerné de l'installation et l'intensité du courant

- au point de défaut, la présence d'arcs de défaut avec
 - détérioration des isolants.
 - fusion des conducteurs.
 - incendie et danger pour les personnes.
 - pour le circuit défectueux.
 - les efforts électrodynamiques avec
 - ✓ déformation des JdB (jeux de barres).
 - ✓ arrachement des câbles.
- sur échauffement par augmentation des pertes joules, avec risque de détérioration des isolants.
- pour les autres circuits électriques du réseau concerné ou de réseaux situés à proximité.
- les creux de tension pendant la durée d'élimination du défaut, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes.

- la mise hors service d'une plus ou moins grande partie du réseau suivant son schéma et la sélectivité de ses protections.
 - l'instabilité dynamique et/ou la perte de synchronisme des machines.
 - les perturbations dans les circuits de contrôle commande. [N 158 tech].

II.10.2 Les surtensions

➤ Causes

- Contact avec une ligne de plus forte tension.
- Coupure brutale d'une ligne.
- Capacité des longues lignes à vide.
- Coups de foudre directs ou indirects.

Conséquences

- Vieillessement des isolants et claquage.
- Surcharge des lignes en cas de durée prolongée.
- Amorçage de court-circuit en cas de claquage des isolants.

II.10.3 Les surcharge

C'est une augmentation de l'intensité absorbée (en général une faible surintensité) qui dépasse l'intensité de fonctionnement normal des récepteurs (courant nominal I_n). La surcharge est due à une surintensité permanente ou à une surintensité temporaire. Les effets d'une surcharge sont essentiellement thermiques (surchauffe).

La surcharge peut être supportée par l'installation électrique (et le récepteur) si elle survient pendant un temps relativement court (démarrage de moteur, etc...). Si la surcharge persiste, il y aura échauffement anormal des câbles électriques et du récepteur ce qui peut entraîner la détérioration du matériel.

La surcharge se traduit par un échauffement préjudiciable à la tenue du diélectrique, et conduit à un vieillissement prématuré du condensateur.

➤ Causes

- Courts-circuits résistants.
- Couplage difficile.
- Report de charge sur une ligne ou une machine, lors de la coupure de la parallèle.

➤ Conséquences

- Effets calorifiques.
- Effets déjà exposés pour les surintensités dues aux courts-circuits.

II.10.4 les perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories

II.10.4.1 Impulsive

Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension en direction positive ou négative. Ces types d'événements peuvent être catégorisés selon leur vitesse (Rapide, moyenne, et lente). Les perturbations Impulsives peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes). [5]

(Voir la figure II.17.)

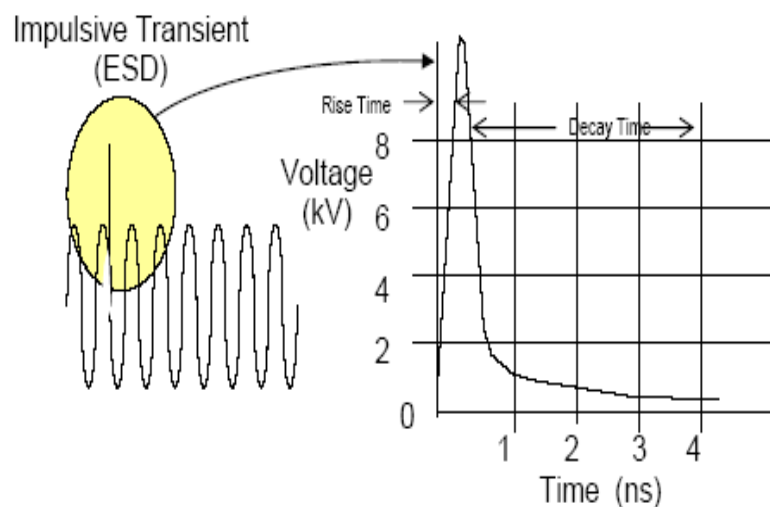


Figure II.17. Perturbation impulsive positive causée par une décharge électrostatique

II.10.4.2 Les oscillations

Une perturbation oscillatoire est un changement soudain dans la condition d'état stable de la tension ou le courant ou les deux signaux en même temps aux deux limites des composantes positive et négative qui oscillent à la fréquence du système naturel. En simple terme, la perturbation oscillatoire cause un fort signal de puissance qui disparaît très rapidement. La perturbation oscillatoire se produit à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitatives car elles résistent au changement. [5] (voir la figure II.18)

➤ Causes

Elles sont produites lors de manœuvres ou de déclenchements sur les réseaux de distribution Ce sont des phénomènes transitoires. Les alternateurs subissent des variations de charge, brutales et le rotor, au lieu de se décaler de l'angle correspondant cette variation, n'atteint sa phase définitive qu'au bout d'un certain nombre d'oscillations qui vont en s'amortissant.

Un faux couplage produit des effets analogues.

➤ Conséquences

- Perte de synchronisme des alternateurs.
- Surintensité et baisse de tension périodique sur les réseaux.
- Variation de vitesse des moteurs.
- Clignotement des lampes.
- Contraintes mécaniques des alternateurs et des turbines.

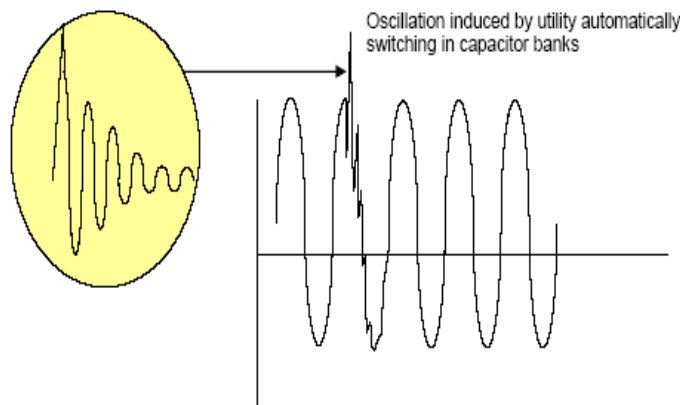


Figure II.18. Perturbation oscillatoire

II.10.4.3 Les déséquilibres

➤ **Causes**

- Coupure d'une bretelle sans mise à la terre.
- Pôles de sectionneurs ou de disjoncteurs laissés ouverts.

➤ **Conséquences**

- Vibrations et échauffement anormaux des moteurs et des alternateurs.
- Lampes alimentées anormalement.
- Dans les réseaux HT ne comportant que 3 fils, la somme des courants n'est plus nulle. Un courant de retour passe dans le sol par le neutre des transformateurs et induit des tensions dangereuses dans les câbles de télécommunication voisins. En outre ce courant de retour produit dans l'appareillage, des courants de circulation engendrant des échauffements anormaux.

II.10.5 Les surintensités

- Chaleur de l'arc à l'endroit du court-circuit incendie, fusion de métaux, carbonisation des isolants.
- Échauffement des conducteurs concentré sur les points faibles, manchons, mâchoires de sectionneurs.
- Effet électrodynamique entre les conducteurs et les galettes du transformateur.

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, on a énuméré les différents architectures du réseau de distribution moyenne tension et haute tension, postes HTA, HTB. Ces architectures sont très importantes et très sensibles, ce qui nécessite une protection contre les différents types d'anomalies telles que les courts-circuits, les surtensions, les surintensités, ...etc.

III.1 Introduction

Les défauts sur les réseaux électriques provoquent des perturbations affectant leur fonctionnement et la qualité d'alimentation de la clientèle. Le système de protection protège les réseaux contre effets de ces défauts. Un défaut est une situation anormale, dans la majorité de ce cas c'est un court circuit. En général, le système de protection ne peut pas éviter les dommages au réseau, il fonctionne après que quelques dégâts ou déjà été produits. Le but de système de protection est de protéger des personnes et de limiter les dégâts d'équipements en isolant l'ouvrage en défaut du reste du réseau avec grand degré de fiabilité et le plus vite possible. [2]

Ce chapitre définit la protection, les concepts de bases d'un système de protection ainsi que les éléments de protection.

III.2 Définition

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations. [3]

III.3 Les fonctions de protection

En générale pour protéger une installation il faut

- Détecté un état de dysfonctionnement
- Surveille le fonctionnement. [5]

III.4 Systèmes de protection

Le fondamentale d'un système de protection dans un réseau électrique, est de détecter les défauts possibles et mettre hors tension la protection des réseaux affecté par le défaut. Quelque soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties fondamentales

- Un système de relais de protection (Relais).
- Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).
- Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller à des niveaux utilisables par les protections. [2]

Jeu de barres

jeu de barres

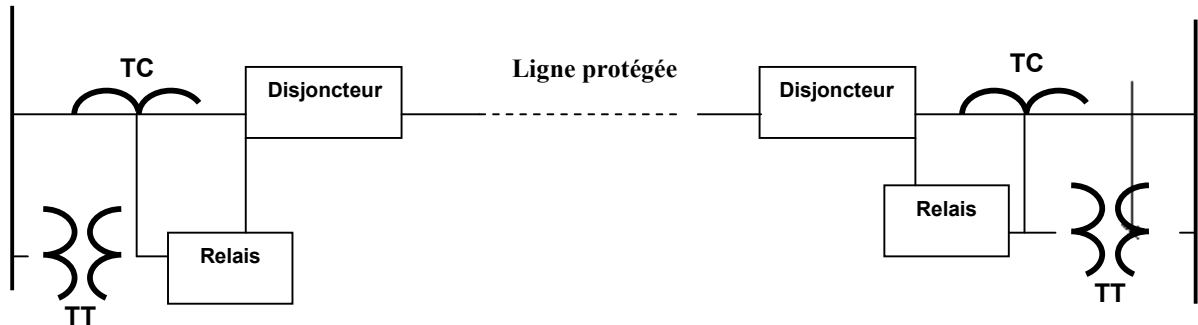


Figure III.1. Constitution d'un système de protection

III.5 les relais de protection

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température, ...etc.) et le transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance, Donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc. Un relais de protection détecte l'existence de conditions anormales par la surveillance continue, détermine quels disjoncteurs ouvrir et alimente les circuits de déclenchement. [3]

III.5.1 les différents types de relais

Il existe essentiellement trois classes de relais selon l'organigramme suivant

III.5.1.1 les relais électromagnétique

Un relais électromagnétique comporte une armature ou un équipage mobile sur lequel agissent les bobines ou des aimants ou des conducteurs. Ils dépendent de la conception du circuit magnétique.

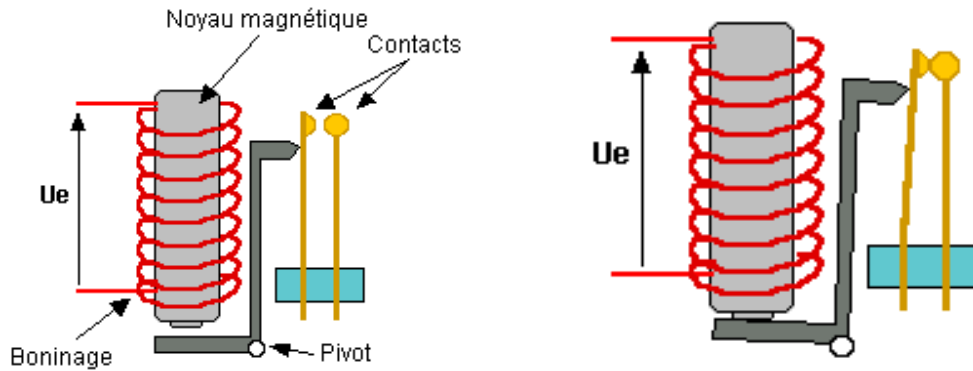


Figure III.2. Principe de relais électromagnétique

La bobine parcourue par un courant, provoque l'aimantation du circuit magnétique dont la 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'entre fer plus faible. [5]

➤ **Avantage**

- Les relais électromagnétique sont simples et spécialisé (contrôle des courant, tension, fréquence).
- bonne durée de vie (plus de 25 ans).
- fonctionnement sont source d'énergie axillaire.
- grand fiabilité.
- robustes [2]

➤ **Inconvénient**

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de maintenance.
- Il est aussi difficile d'obtenir des réglages adaptés aux faibles courants de court-circuit.
- Son coût de fabrication est élevé. [3]

➤ **Utilisation**

Elle est utilisée par un grand nombre de réseaux électriques (essentiellement en HT). [2]

III.5.1.2 Les Relais statique

Ces protections, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de courant et de tension, en signaux électriques de faible voltage qui sont comparés à des valeurs de référence (points de réglage).

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

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

➤ Inconvénient

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de tests.
- La grande puissance consommée en veille.
- La faible sécurité de fonctionnement (pas de fonction d'autocontrôle). [3]

III.5.1.3 Les Relais numériques

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

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

- Intégration de plusieurs fonctions pour réaliser une fonction de protection complète dans une même unité.
- Le traitement et le stockage de données.
- L'enregistrement des perturbations du réseau (perturbographe).
- Le diagnostic des dispositifs connectés (disjoncteurs, .etc.).[3]

III.5.2 Principes de fonctionnement des relais de protection

Tous les paramètres d'un réseau électrique peuvent être utilisés pour sa surveillance et la détection de défauts. Il s'agit le plus souvent de mesures du courant et de la tension du réseau, En générale, quand un défaut se produit le courant augmente et la tension basse, A travers la variation de ces deux grandeurs, paramètres varient également et on obtient des mesures de paramètres plus complexes.

- Déphasage par comparaison des phases.
- Puissance apparente en effectuant le produit du courant par la tension.
- Puissance active et réactive à partir de la puissance apparente et du déphasage.
- Impédance en effectuant le quotient de la tension par le courant.

Le principe de fonctionnement d'un relais est basé sur la détection de ces variations à l'intérieur de sa zone de protection, les relais sont caractérisés par leurs grandeurs d'entrée auxquelles ils répondent. La majorité des relais de protection utilisé dans les réseaux électriques décrit ci-dessous. [2]

III.5.3 Relais de mesure

Ces relais doivent effectuer une mesure correcte avec une précision suffisante malgré la présence des régimes transitoires perturbateurs sur les courants et les tensions qui apparaissent au moment du court circuit.

- Relais de mesure de courant.
- Relais de mesure de tension.
- Relais de mesure d'impédance (relais à distance).
- Relais de mesure de puissance.

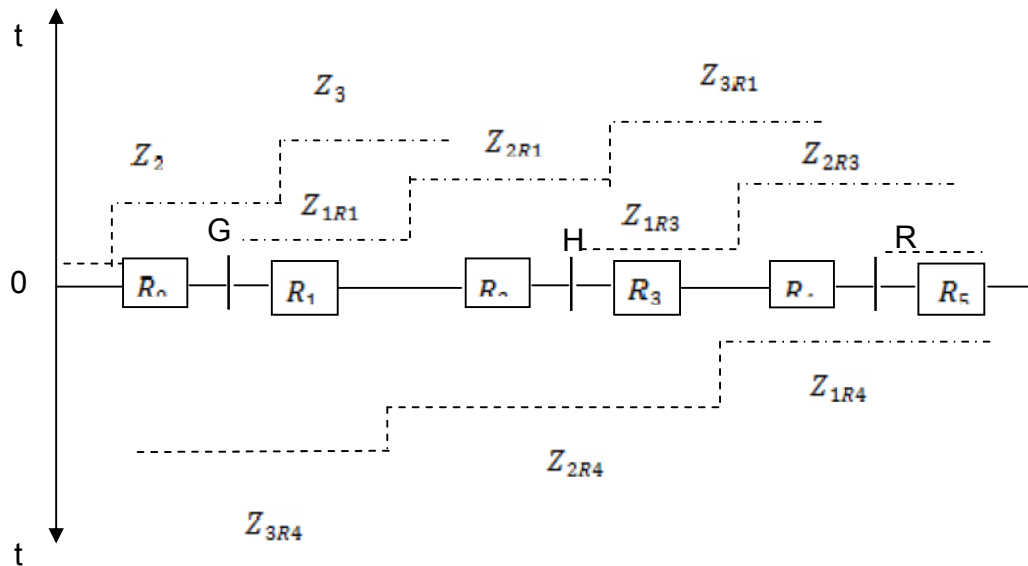


Figure III.3. Zone de protection de relais à distance

- La zone 1 (zone instantanée) concerne la protection primaire de la ligne à protéger.
- La zone 2 et la zone temporisée et doit prendre en considération le jeu de barres éloigné de la ligne sous toutes les conditions pour réaliser la protection primaire de la ligne.
- La zone 3 est utilisée principalement pour la protection de secours de la ligne primaire et de toutes les lignes adjacentes.

III.5.4 Relais directionnel

Ce type de protection fonctionne à partir du courant, de la tension et du sens de l'écoulement de l'énergie. Elle agit lorsque simultanément le courant ou la puissance dépasse un seuil et que l'énergie se propage dans une direction anormale.

Dans le cas d'une protection directionnelle de courant l'élément défectueux est parcouru par un courant de défaut avec un changement de sens.

Dans le cas d'une protection directionnelle d'impédance, la direction est détectée en déterminant l'angle de déphasage entre les tensions de références et le courant de défaut.

Dans le plan d'impédance, la direction est détectée par le quadrant où se trouve l'impédance calculée.

Les protections directionnelles sont utiles sur tout élément du réseau où le sens d'écoulement de l'énergie est susceptible de changer notamment lors d'un court circuit entre phases et /ou d'un défaut à la terre (défaut monophasé).

Les protections directionnelles sont donc un moyen complémentaire aux protections à maximum de courant, permettant, dans les situations précédemment citées, d'assurer une bonne isolation de la portion de réseau en défaut.

III.5.5 Relais différentielle

Est un principe commun de protection pour les transformateurs, moteurs, et générateurs. Elle mesure la différence de courant entre deux TC branchés l'un en aval, l'autre en amont d'une partie du réseau à surveiller (un moteur, un transformateur, un jeu de barres) pour détecter et isoler rapidement tout défaut interne à cette partie. Elle est basée sur la comparaison du courant d'entrée et de sortie d'un élément, si la comparaison indique la présence d'une différence cela veut dire la présence d'un défaut et le relais doit agir. La différence mesurée doit être significative pour qu'elle soit attribuée à un défaut.

III.5.6 Relais piloté

Le relais pilote n'est pas vraiment un principe de relais. Il peut être composé de n'importe quel type de base mentionné ci-dessus, la différence est qu'une liaison est ajoutée de sorte que deux relais pilote qui protègent une ligne de transmission puissent communiquer l'un avec l'autre même lorsque placés aux extrémités séparées d'une ligne de transmission. Si le concept du relais pilote est interprété comme capacités de deux ou davantage de relais pour communiquer l'un avec l'autre, la plus grande utilisation des relais numériques pour la protection des réseaux fournira une excellente plateforme pour tous les relais pour être des relais pilotes.

III.6 Disjoncteur

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée (tension maximale du réseau), dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), détectant un défaut et élaborant des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé par un autre disjoncteur ou dans le cas où le défaut présente un caractère fugitif.

Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut.

Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment là (ou le niveau d'énergie à interrompre est à son minimum). C'est l'appareil de protection capable d'une totale capacité d'intervention sans provoquer de surtension excessive sur le réseau.

Le disjoncteur ne réussit pas souvent à interrompre le courant sont nécessaires pour un disjoncteur rapide utilisés dans la HT sont d'un cycle, par contre sont utilisés dans la BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir. Dans le cas des lignes électriques, beaucoup de défauts sont temporaires. Pour distinguer entre un défaut permanent et un défaut temporaire le concept d'auto-enclenchement est utilisé. Quand le disjoncteur déclenche il reste ouvert un certain temps ensuite il ferme automatiquement. Cette action permet au relais de vérifier si le défaut continu d'exister, et dans ce cas de déclencher de nouveau. Si le défaut à disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne pas va rester en service.

Le disjoncteur permet d'établir ou d'interrompre le courant, par rapprochement et séparation des contacts jusqu'aux valeurs les plus élevées des courants de défaut. Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure. [2]

❖ Courbe de déclenchement d'un disjoncteur

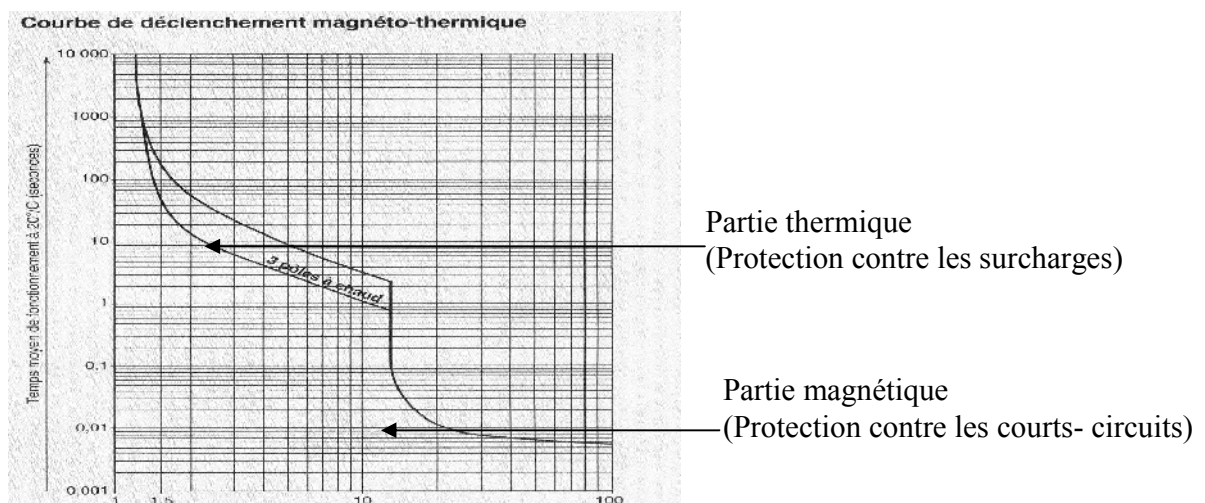


Figure III.4. Temps de déclenchement d'un disjoncteur

III.6.1 Les différents types de courbes de déclenchement des disjoncteurs

III.6.1.1 La courbe B de déclenchement de disjoncteur

Le seuil de réglage du déclencheur magnétique (voir figure III.5.) qui leur est associé (Fonctionnement du magnétique). $3 \text{ à } 5 \text{ fois } I_n ; (3 \div 5)I_n$.

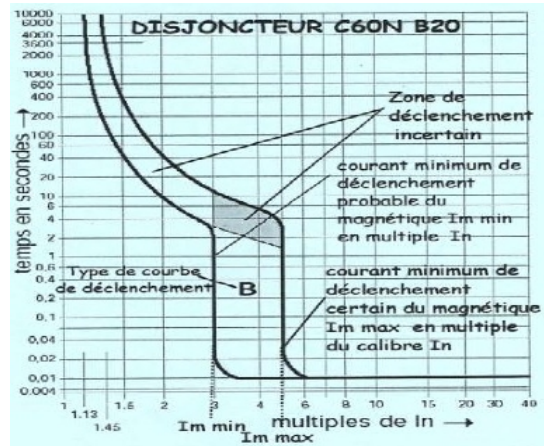


Figure III.5. Courbe B de déclenchement de disjoncteur

▪ Analyse de la courbe

➤ L'élément thermique tolère

✓ $1,5 \cdot I_n$ durant 3 mn.

✓ $2 \cdot I_n$ durant 30 s.

➤ L'élément magnétique provoque la coupure pour $8 \times I_n$ au bout de 10 ms.

• Le disjoncteur a un déclenchement magnétique relativement bas et permet d'éliminer les courts-circuits de très faible valeur ; Elle assure la protection des générateurs, des personnes et des câbles de grandes longueurs de câbles en régime TN et IT.

• Le déclencheur courbe B est aussi utilisé pour la protection des circuits résistifs.

III.6.1.2 La courbe C de déclenchement de disjoncteur

Le seuil de réglage du déclencheur magnétique qui leur est associé (voir figure III.6.)
(fonctionnement du magnétique): 5 à 10 fois I_n ; $(5 \div 10)I_n$

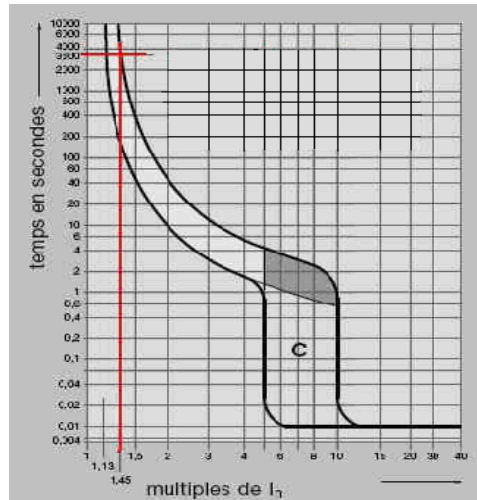


Figure III.6. Courbe C de déclenchement de disjoncteur

- Protection des circuits à fort appel de courant.
- Elle assure la protection des câbles alimentant des récepteurs classiques (Installations domestiques).

III.6.2.3 La courbe D de déclenchement de disjoncteur

Le seuil de réglage du déclencheur magnétique qui leur est associé (voir figure II.7.),
(Fonctionnement du magnétique) : 10 à 20 fois I_n ; $(10 \div 20)I_n$

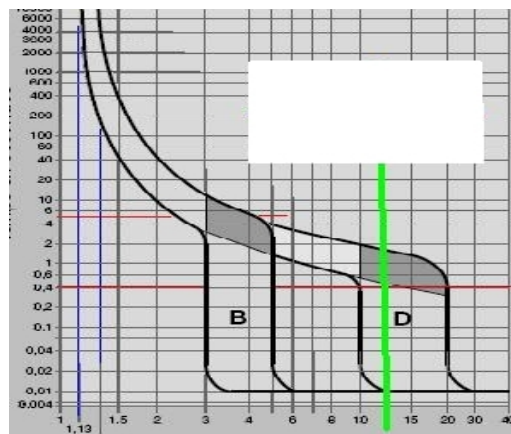


Figure III.7. Courbe D de déclenchement de disjoncteur

- Protection des circuits à fort appel de courant.
- Elle assure la protection des circuits et des câbles où il existe de très fortes pointes de courant à la mise sous tension (ex: moteurs).[2]

III.6.2 Les différents types des disjoncteurs HT

III.6.2.1 Disjoncteur à huile

La coupure dans l'huile s'est imposée en haute tension après avoir été développée en moyenne tension (ou Haute tension A). Sous l'action de l'arc électrique, l'huile est décomposée, plusieurs types de gaz sont produits (essentiellement de l'hydrogène et de l'acétylène) lors de cette décomposition. L'énergie de l'arc est utilisée pour décomposer et évaporer l'huile, ceci permet de refroidir le milieu entre les contacts et par suite d'interrompre le courant à son passage par zéro

- Disjoncteurs à faible volume d'huile.
- Disjoncteurs à grand volume d'huile. [7]

➤ Inconvénient

- dimensions plus grandes.
- Pouvoir de coupure influencé par la présence des cloisons métalliques de la cellule contenant l'appareil et par l'humidité de l'air.
- Coût et bruit.

Cette technique de coupure a été très employée dans tous les domaines, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. Progressivement, elle est supplantée par les techniques de coupure dans le vide et dans le SF6. [7]

III.6.2.2 Disjoncteur à air comprimé

Le gaz contenu dans les disjoncteurs à air comprimé est maintenu sous haute pression (20 à 35 bars) à l'aide d'un compresseur. Cette haute pression permet d'assurer la tenue diélectrique et de provoquer le soufflage de l'arc pour la coupure.

Le soufflage intense exercé dans ces disjoncteurs a permis d'obtenir de très hautes performances (courant coupé jusqu'à 100 kA sous haute tension) et avec une durée d'élimination du défaut très courte permettant d'assurer une bonne stabilité des réseaux en cas de défaut. [7]

➤ **Inconvénients**

- Nécessité d'une station d'air comprimé,
- Bruit violent,
- Appareil plus Cher

III.6.2.3 Disjoncteur à haute tension au SF₆ (Hexafluorure de soufre)

- La suprématie des appareils SF₆ dans la gamme 7,2 kV à 245 kV. Sur le plan technique, plusieurs caractéristiques des disjoncteurs SF₆ peuvent expliquer leur Succès.
- La simplicité de la chambre de coupure qui ne nécessite pas de chambre auxiliaire pour la coupure.
- L'autonomie des appareils apportée par la technique auto-pneumatique (sans compresseur de gaz).
- La possibilité d'obtenir les performances les plus élevées, jusqu'à 63 kA.
- Le nombre de chambres de coupure est réduit (01 chambre en 245 kV, 02 chambres en 420 kV, 03 chambres pour la ligne de 550 kV et 04 en 800 kV).
- Une durée d'élimination de court-circuit court, de 2 à 2,5 cycles en réseau TH.
- La durée de vie d'au moins de 25 ans.
- Faible niveau de bruit.
- Zéro maintenance (régénération du gaz SF₆ après coupure).
- Eteint l'arc dix fois mieux que l'air.
- L'un des inconvénients de ce type d'appareil est son prix élevé. [3]

III.6.2.4 Disjoncteur à vide

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

Tous les constructeurs ont été confrontés aux mêmes exigences:

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

C'est en MT que cette technique est la plus employée: des disjoncteurs d'usage général sont maintenant disponibles pour les différentes applications avec tous les pouvoirs de coupure habituels (jusqu'à 63 kA). Ils sont utilisés pour la protection et la commande [3].

III.7 Fusible

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré. Ils sont surtout efficaces pour la protection contre les courts circuits, vis-à-vis desquels ils agissent, le plus souvent, limiteurs de la valeur crête du courant de défaut.

Le fusible est ainsi un excellent dispositif pour l'élimination des défauts mais il présente un certain nombre d'inconvénients qui limitent son utilisation.

- Ils sont assez souvent générateurs de surtensions à la coupure.
- Ils exigent malheureusement d'être remplacés après chaque fonctionnement.
- En régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel.
- Leur calibre doit être bien adapté pour éviter un fonctionnement intempestif en cas de surcharge momentanée.

Les fusibles sont des appareils monophasés, pour pallier cet inconvénient potentiel, les fusibles peuvent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec lesquels ils constituent des combinés capables d'assurer automatiquement la coupure des phases saines lors du fonctionnement de l'un d'eux de façon à éviter la marche monophasée dangereuse. Les combinés présentent, en outre, l'avantage d'interrompre en triphasé en cas de fusion d'un seul ou de fusibles.

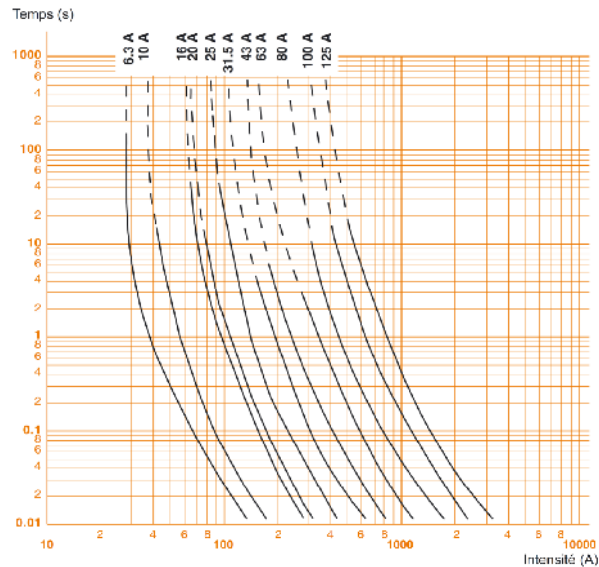


Figure III.8. Courbe de fusion et limitation du fusible

III.8 Transformateur de courant

III.8.1 Définition

Un transformateur de courant est constitué d'un circuit primaire et d'un circuit secondaire couplés par un circuit magnétique et d'un enrobage isolant, L'appareil est de type

- Bobiné, lorsque le primaire et le secondaire comportent un bobinage enroulé sur le circuit magnétique.
- Traversant, primaire constitué par un conducteur non isolé de l'installation.
- Tore, primaire constitué par un câble isolé. [3]

III.8.2 Fonction

La fonction d'un transformateur de courant phase est de fournir à son secondaire (I_s) un courant proportionnel au courant primaire (I_p) mesuré.

L'utilisation concerne autant la mesure (comptage) que la protection. [3]

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

Assurer l'isolement galvanique entre la HT et le circuit de mesure et de protection.

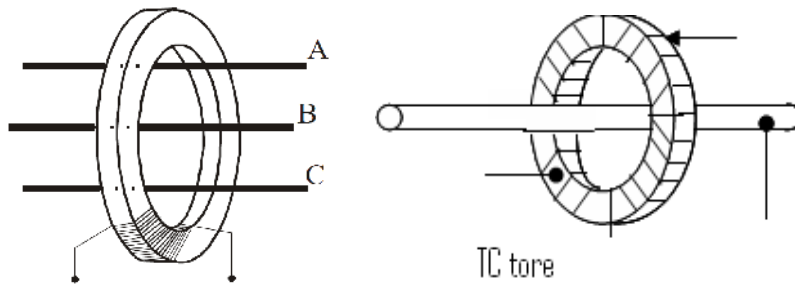


Figure III.9. Transformateur de courant type tore

III.9 Transformateur de tension TT

III.9.1 Définition

Un transformateur de tension ou potentiel est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ». On utilise aussi le terme transformateur de potentiel (TP). Il s'agit donc d'un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts.

La caractéristique la plus importante d'un transformateur de tension est donc son rapport de transformation, par exemple 400 000 V/100 V. [3]

III.9.2 Fonction

La fonction d'un transformateur de tension est de fournir à son secondaire une tension image de celle qui lui est appliquée au primaire. L'utilisation concerne autant la mesure que la protection. Les transformateurs de tension (TT ou TP) sont constitués de deux enroulements, primaire et secondaire, couplés par un circuit magnétique, les raccordements peuvent se faire entre phases ou entre phase et terre.[3]

III.10 Eclateur

Utilisés en MT/HT, ils sont placés sur les points des réseaux particulièrement exposés et à l'entrée des postes MT/BT. Leur rôle est de constituer un point faible maîtrisé dans l'isolement du réseau, afin qu'un amorçage éventuel se produise systématiquement là. Le premier et le plus ancien des appareils de protection est l'éclateur à pointes, il était constitué de deux pointes en vis-à-vis, appelées électrodes, dont l'une était reliée au conducteur à protéger et l'autre à la terre.

III.10.1 Les différents types des Éclateurs HT

- Eclateurs à deux électrodes
- Eclateurs à trigger

➤ Avantages

Les principaux avantages des éclateurs sont

- leur faible prix
- leur simplicité
- la possibilité de réglage de la tension d'amorçage.

➤ Inconvénients

- les caractéristiques d'amorçage de l'éclateur sont très variables (jusqu'à 40%) en fonction des conditions atmosphériques (température, humidité, pression) qui modifient l'ionisation du milieu diélectrique (air) Entre les électrodes.
- le niveau d'amorçage dépend de la valeur de la surtension.
- L'amorçage de l'éclateur provoque un court circuit phase terre.
- L'amorçage provoqué par une surtension à front raide n'est pas instantané.
- L'amorçage provoque l'apparition d'une onde coupée à front raide susceptible d'endommager les enroulements des transformateurs ou des moteurs situés à proximité.

III.11 Les parafoudres

Un parafoudre (ou parasurtenseur) est un dispositif de protection des appareillages électriques ou électrique contre les surtensions électriques transitoires générées par exemple par la foudre ou certains équipements industriels.

Le principe du parafoudre consiste à assurer un lien entre les conducteurs actifs et la terre au moment de la surtension provoquée par la décharge. L'impédance présentée par le parafoudre doit être très faible lors de la surtension et élevée lors du fonctionnement normal. Son comportement est celui d'une varistance (impédance variable en fonction de la tension). Ils sont utilisés sur les réseaux HT et MT.

III.12 Câbles de garde

Les câbles de garde ne transportent pas le courant. Ils sont situés au-dessus des conducteurs. Ils jouent un rôle de paratonnerre au-dessus de la ligne, en attirant les coups de foudre, et en évitant le foudroïement des conducteurs. Ils sont en général réalisés en almelec-acier. Au centre du câble de garde on place parfois un câble fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant. Si on décide d'installer la fibre optique sur un câble de garde déjà existant, on utilise alors un robot qui viendra enrouler en spirale la fibre optique autour du câble de garde.

III.13 Propriétés de protection

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

III.13.1 Fiabilité

La notion de fiabilité recouvre à la fois l'absence de fonctionnement intempestif (sûreté) et l'absence de

Fonctionnement (sécurité). Le non fonctionnement d'une protection est désagréable s'il conduit à une élimination tardive et non sélective des défauts. En fonction de type de protection et de son rôle dans le réseau, des objectifs de sécurité, de sureté et de disponibilité (probabilité de panne) sont fixés par l'exploitation. La fiabilité d'un système de protection a donc un double objectif

- Etre sur un déclenchement à sécurité.
- Ne pas avoir de déclenchement intempestif à disponibilité. [2]

III.13.2 Disponibilité

C'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état de marche. [5]

III.13.3 Rapidité

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

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs. [3]

III.13.4 Sélectivité

La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner. [3]

➤ Principe

Un défaut en un point d'installation doit être éliminé par le dispositif de protection placé immédiatement en amont de ce défaut, et si possible, par lui seul. [6]

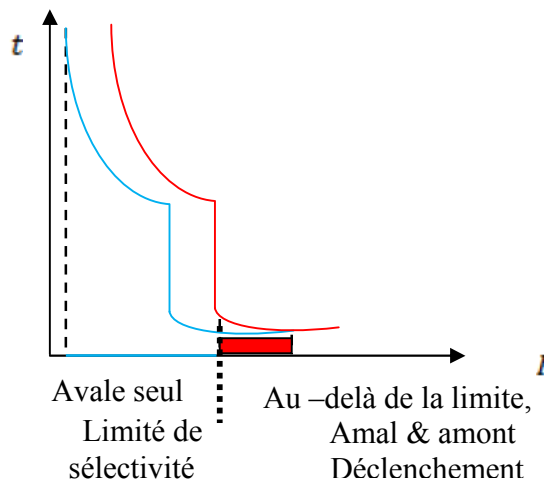


Figure III.10. Représente limite de sélectivité

III.13.4.1 Types de sélectivité

III.13.4.1.1 Sélectivité totale

Pour toutes les valeurs des défauts, depuis la surcharge jusqu' au court-circuit franc, la distribution est totalement sélectivité si D2 s'ouvre et D1 reste fermé.

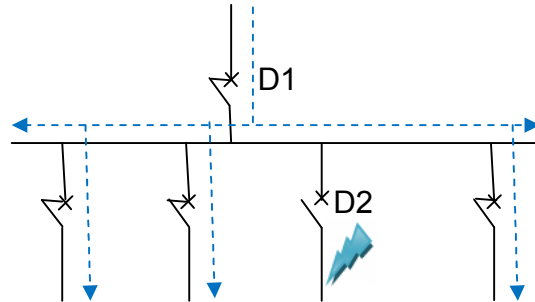


Figure III.11. Représentation de la sélectivité totale

III.13.4.1.2 Sélectivité partielle

La sélectivité est partielle si dispositif aval fonctionne seul jusqu'à une valeur de court-circuit inférieur à I_{cc} présumé, Au-delà amont et aval fonctionnement (D1 et D2 s'ouvrent).

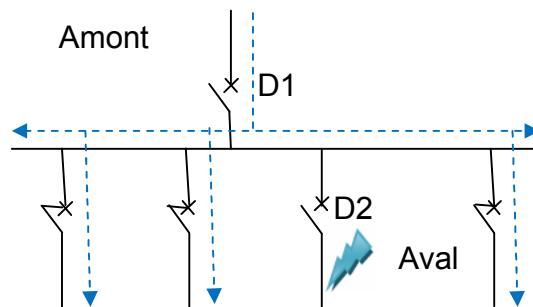


Figure III.12. Représentation de la sélectivité partielle

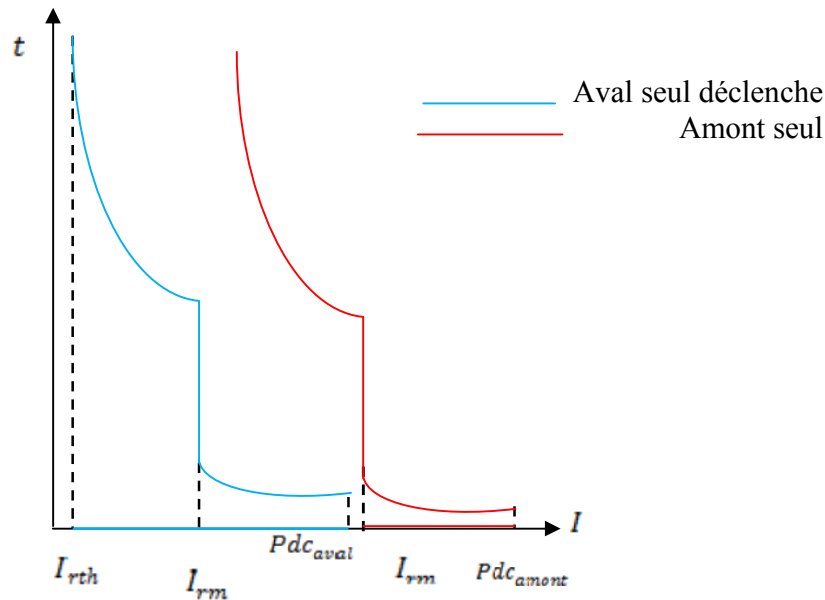


Figure II.13. Sélectivité totale et sélectivité partielle

Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants [6]

III.13.4.2 Sélectivité ampéremétrique

Elle est basée sur le décalage en intensité des courbes de protection.

La sélectivité est dite ampéremétrique lorsque la sélectivité est assurée grâce à un courant de déclenchement de la protection la plus en amont supérieur à celui de la protection immédiatement en amont du défaut.

La sélectivité ampéremétrique repose sur des réglages de courant de déclenchement décroissant vers l'aval du réseau. Plus on est près du consommateur (loin de la source) plus le courant réglé sera faible.

Elle se vérifie par comparaison des courbes de déclenchement des disjoncteurs amont et aval, en s'assurant qu'elles ne se chevauchent pas. Elle s'applique pour la zone des surcharges et la zone des courts-circuits.

- **Remarque** : Il est à noter que la sélectivité la plus utilisée est la sélectivité ampéremétrique.

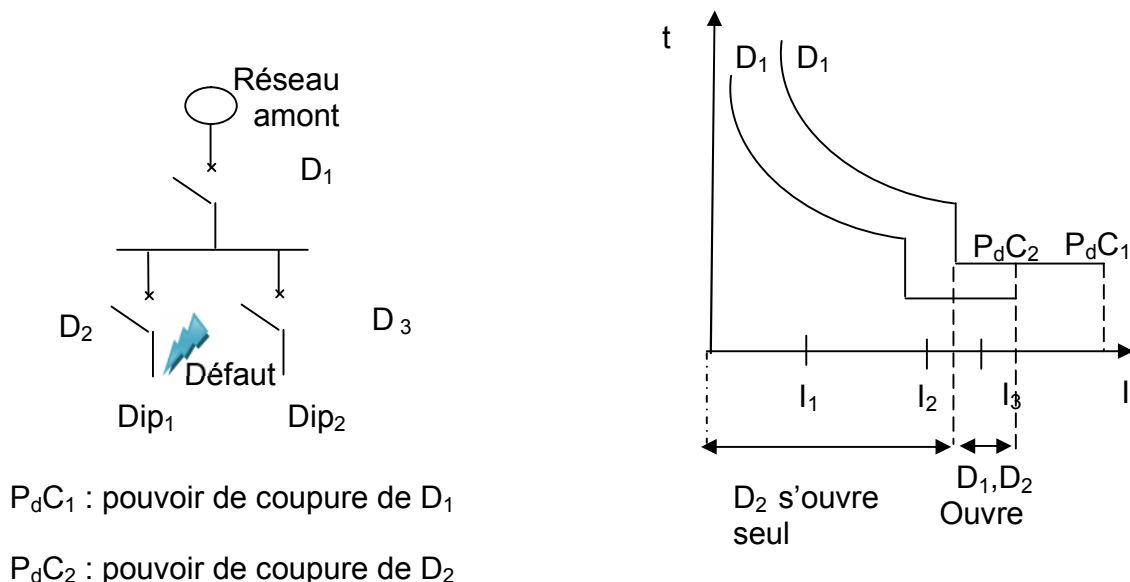


Figure III.14. Principe de la sélectivité ampéremétrique.

$I_{\text{défaut}} = I_1$: seul D_2 s'ouvre
 $I_{\text{défaut}} = I_2$: seul D_2 s'ouvre
 $I_{\text{défaut}} = I_3$: D_1 et D_2 s'ouvrent

} **la sélectivité est partielle**

La sélectivité ampéremétrique est d'autant plus grande que l'écart entre les calibres des disjoncteurs D_1 et D_2 est important (éloignés).

III.13.4.3 Sélectivité chronométrique

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue. Ainsi, sur le schéma (Fig. II.14.), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B.

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

La différence des temps de fonctionnement ΔT entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.[3].

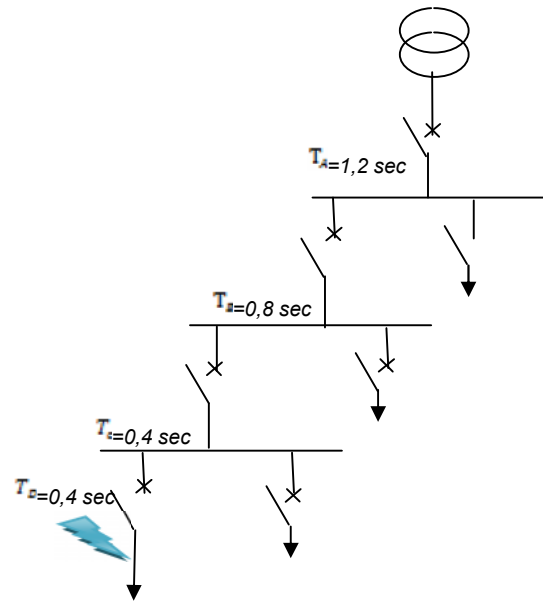


Figure III.15. Principe de sélectivité chronométrique

III.13.4.4 sélectivité logique

Se type de sélectivité est aussi appelé Système de Sélectivité logique ou SSL, La grandeur contrôlée est courant, Toutes les unités de protections SSL communiquent via une liaison filaire (liaison pilote): par ce circuit toutes les unités sollicitées par un défaut envoient instantanément une impulsion d'attente logique à l'unités amont, Ainsi, seule la protection située d'attente logique (figure III.15.)

Chapitre III

Etude des protections électriques

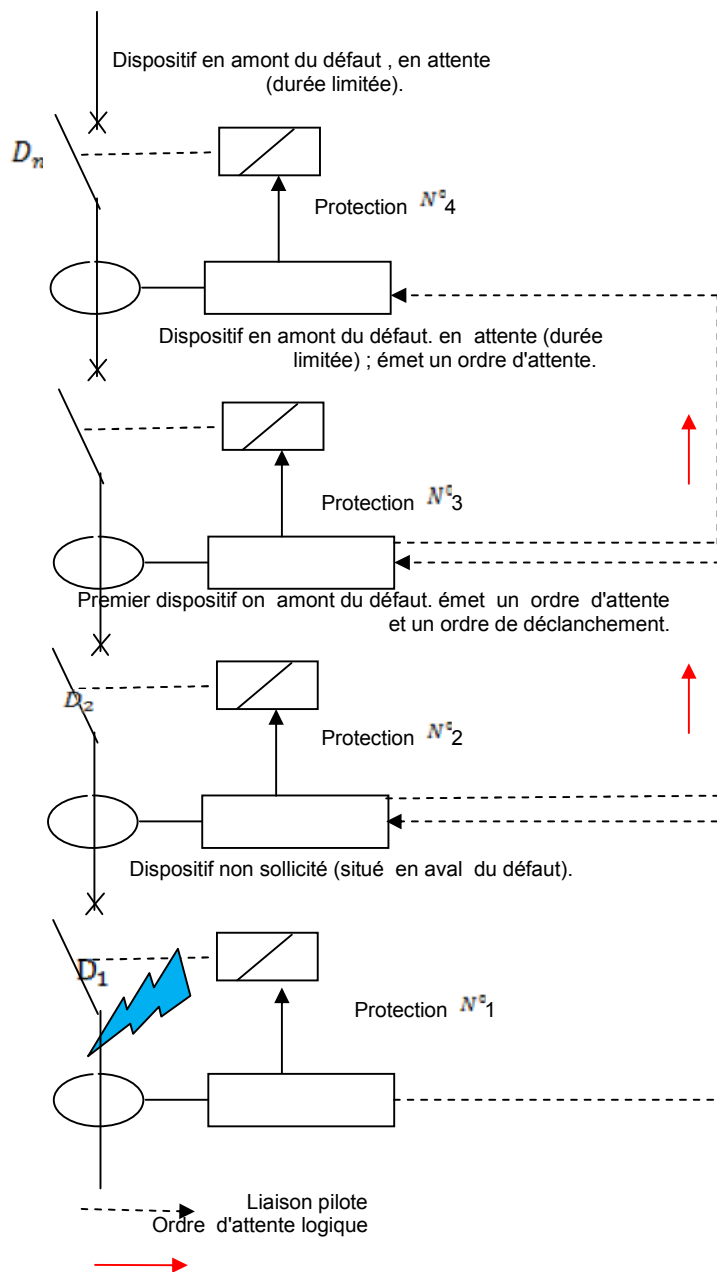


Figure III.16. Principe de sélectivité logique

Chapitre III

Etude des protections électriques

III.13.4.5 Tableau de sélectivité des disjoncteurs

tableau de sélectivité
Limites de sélectivité (valeurs moyennes en ampères)

Disjoncteurs amont

Disjoncteurs aval	DNX - 4 500 DX uni + neutre 6 000- 10kA												DX - 6000- 10kA DX-h - 10000 - 25kA												DX 6000 - 10kA											
	Courbe C												Courbe C												Courbe D											
	6 A	8 A	10 A	13 A	16 A	20 A	25 A	32 A	40 A	6 A	10 A	16 A	20 A	25 A	32 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A	125 A	6 A	10 A	16 A	20 A	25 A	32 A	40 A	50 A							
DNX 4500	0,5 A	45	64	75	97	120	150	187	240	300	45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
DX uni + neutre 6000 10 kA	1 A	45	64	75	97	120	150	187	240	300	45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
Courbe C	2 A	45	64	75	97	120	150	187	240	300	45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
	3 A	45	64	75	97	120	150	187	240	300	45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
	4 A	45	64	75	97	120	150	187	240	300	45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	120	192	240	300	384	480	600							
	6 A		64	75	97	120	150	187	240	300		75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	120	192	240	300	384	480	600							
	8 A			75	97	120	150	187	240	300		75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	120	192	240	300	384	480	600							
	10 A				97	120	150	187	240	300			120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	120	192	240	300	384	480	600							
	13 A					120	150	187	240	300			120	150	187	240	300	375	472	480	600	750		192	240	300	384	480	600							
	16 A						150	187	240	300				150	187	240	300	375	472	480	600	750			240	300	384	480	600							
	20 A							187	240	300					187	240	300	375	472	480	600	750				300	384	480	600							
	25 A								240	300						240	300	375	472	480	600	750					384	480	600							
	32 A									300							300	375	472	480	600	750						480	600							
	40 A																	375	472	480	600	750							600							
DX 6000 10 kA	1 A										45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
DX - h 10000 25 kA	2 A										45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
Courbe C	3 A										45	75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	72	120	192	240	300	384	480	600						
	6 A											75	120	150	187	240	300	375	472	480	600	750	120	192	240	300	384	480	600							
	10 A												120	150	187	240	300	375	472	480	600	750		192	240	300	384	480	600							
	16 A													150	187	240	300	375	472	480	600	750			240	300	384	480	600							
	20 A														187	240	300	375	472	480	600	750				300	384	480	600							
	25 A															240	300	375	472	480	600	750					384	480	600							
	32 A																300	375	472	480	600	750						480	600							
	40 A																	375	472	480	600	750							600							
	50 A																		472	480	600	750														
	63 A																			480	600	750														
	80 A																				600	750														
	100 A																					750														
	125 A																																			

Donc à partir du tableau de sélectivité la limite de sélectivité est de **384 A**.

Pour $I_{ccb} < 384 A$: la sélectivité est totale.

Pour $I_{ccb} > 384 A$: la sélectivité est partielle.

Chapitre III

Etude des protections électriques

Exemple d'application

Détermination de la sélectivité entre un disjoncteur amont C60/N/H amont 40A la courbe déclenchement est de type C calibre 40 A et un disjoncteur C60N aval avec une courbe déclenchement type B calibre 20A.

Assurer une protection sélective dans le cadre d'un court-circuit survenant au point B ?

- **Tableau de sélectivité des disjoncteurs**

		amont C60N/H/L courbe C												
aval		In (A)	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63
C60N/L courbe B	≤ 6						85	136	170	212	270	340	425	535
	10							170	212	270	340	340	425	535
	16									270	340	340	425	535
	20											340	425	535
	25												425	535
	32												425	535
	40													535
	C60N/H/L courbe C	1	17	26	34	50	85	136	170	212	270	340	425	535
	2			34	50	85	136	170	212	270	340	425	535	
	3				50	85	136	170	212	270	340	425	535	
	4					85	136	170	212	270	340	425	535	
	6						85	136	170	212	270	340	425	535
	10								212	270	340	425	535	
	16									270	340	425	535	
	20										340	425	535	
	25											425	535	
	32												535	

Donc à partir du tableau de sélectivité la limite de sélectivité est de **340 A**.

Pour $I_{ccB} < 340 \text{ A}$: la sélectivité est **totale**.

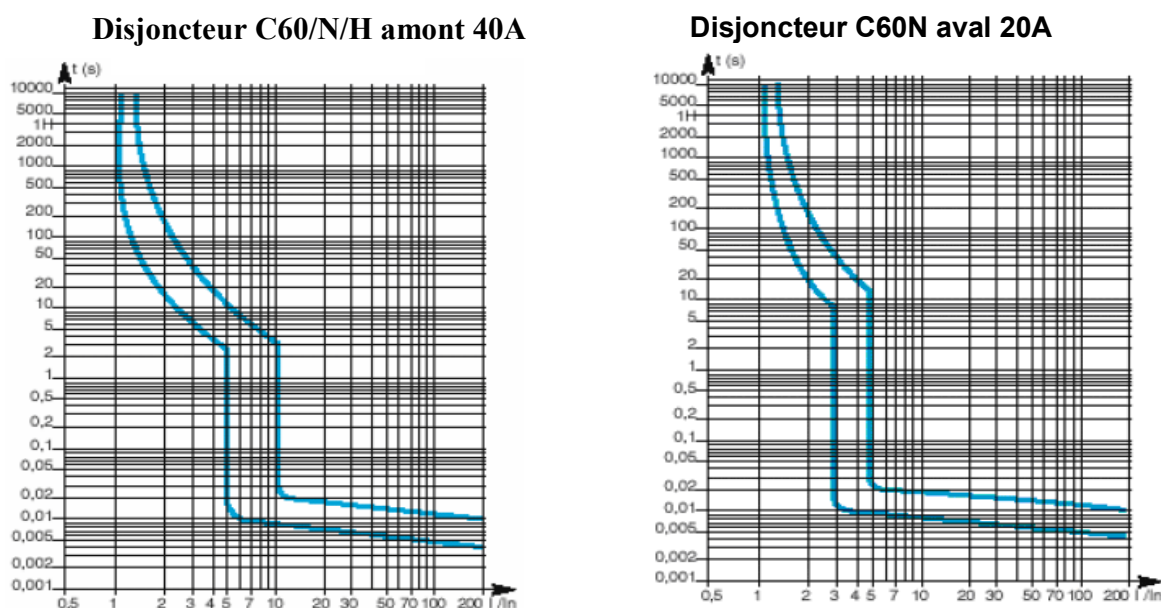
Pour $I_{ccB} > 340 \text{ A}$: la sélectivité est **partielle**.

Chapitre III

Etude des protections électriques

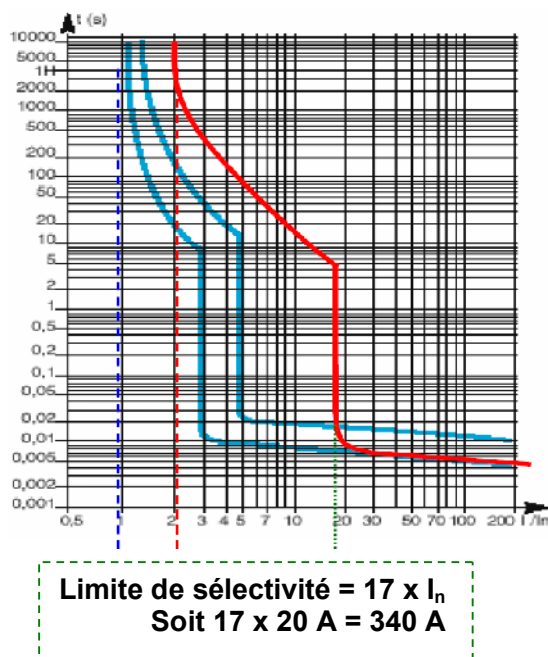
III.13.4.6 Vérification de la limite de sélectivité entre deux disjoncteurs C60 /N /H et C60/N/H par les courbe de déclenchement

Les deux courbes de déclenchement des disjoncteurs amont et aval est représentées comme suit :



➤ La limite de sélectivité entre deux disjoncteurs C60N et C60/N/H

Si en transposant la courbe du disjoncteur amont 40 A sur le graphe du disjoncteur aval 20 A on obtient :



✓ Conclusion

La valeur de la limite de sélectivité donnée par le tableau de sélectivité est vérifiée.

Dans ce cas :

Pour $I_{ccB} < 340 \text{ A}$: seul le disjoncteur C60N s'ouvre → la sélectivité est **totale**.

Pour $I_{ccB} > 340 \text{ A}$: les disjoncteurs C60N et C60/N/H s'ouvrent → la sélectivité est **partielle**.

III.13.5 Avantage de sélectivité

- Disponibilité permanent l'énergie.
- Pas de rupture de fabrication.
- Pas de respire de procédure de démarrage.
- Pas d'arrêt intempestif et dangereux des machines ou système.
- Disponibilité permanent l'énergie.

III.13.6 sensibilité

- La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre
- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu.
- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.
- La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

[5]

III.14 Conception des systèmes de protection

Pour la commencer la conception d'un système de protection il faut

- Connaître les courants de défauts possibles à survenir pour chaque ouvrage. Donc quelque analyse et Calculs de courts circuits doivent être menés pour le réseau d'étude, en considérant différents type de défauts, afin de déterminer les valeurs maximales et minimales des courants de court circuit.
- Le concepteur doit décider ensuite où placer l'équipement de protection (relais équipement associé) selon les valeurs de courts surcircuits. Généralement, une protection rapide nécessitée d'être placée a l'extrémité de chaque ouvrage qui devra supporter un courant de court circuit maximal.

Pratiquement l'emplacement des protections est aussi basé sur d'autres considérations tels que

- Le type de matériel de protection disponible.
- La longueur de la ligne à protéger.
- Le cout de la protection.
- La charge connectée

- Le choix de l'équipement de protection y compris les relais pour chaque ouvrage. Chaque équipement choisi doit satisfaire à la spécification du réseau (système de tension, courants de courts circuits à interrompre).

Il doit également être en mesure de détecter tout défaut dans la longueur de sa ligne (ou ouvrage) et c'est possible dans sa ligne adjacente.

Pour assurer la coordination de protection, chaque relais doit pouvoir faire la différence entre un défaut sur sa ligne et un défaut sur une ligne adjacente. Pour atteindre cet objectif, un ensemble de grandeurs de fonctionnement convenables doivent être choisies.

Pour satisfaire ces besoins une sélection convenable des caractéristiques et des paramètres de fonctions des relais doit être faite.

Finalement, les relais doivent pouvoir fonctionnement en coordination en faisant un ajustement de leur paramètres de fonctionnement. [2]

III.15 Contraintes supplémentaires pour la protection

Les protections électriques ne doivent pas apporter de limitation au fonctionnement normal des réseaux électriques, en particulier

- a) Elles ne doivent pas limiter la souplesse d'utilisation du réseau protégé en interdisant certains schémas d'exploitation (réseaux bouclés, maillés, radiaux).
- b) Elles doivent rester *stables* en présence de phénomènes autre que le court-circuit

Lors de manœuvres d'exploitation, pendant les régimes transitoires consécutifs à la mise sous tension ou hors tension à vide des lignes ou des transformateurs, Lors de variations admissibles de la tension et de la fréquence, En présence de surcharges et de déséquilibres entrant dans la marge de fonctionnement des réseaux électriques, En présence d'oscillations résultant du régime transitoire des alternateurs, Sous l'influence d'une anomalie des circuits de mesure.

III.16 Conclusion

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

IV.1 Introduction

L'étude des protections d'un réseau se décompose en deux étapes distinctes :

- La définition du système de protection, appelée plan de protection,
- La détermination des réglages de chaque unité de protection, appelée coordination des protections ou sélectivité.

IV.2 Zone de Protection

En plus des performances que doivent avoir les relais, il faut savoir les placer correctement pour les rendre plus efficaces. Pour atteindre cet objectif, on découpe le réseau industriel en zones délimitées par les positions des organes de coupe.

La figure IV.1 montre une disposition caractéristique des zones de protection, correspondant respectivement à des sections de ligne, des jeux de barres, des transformateurs des machines. Ces zones se recouvrent pour ne laisser aucun point de l'installation sans protection.

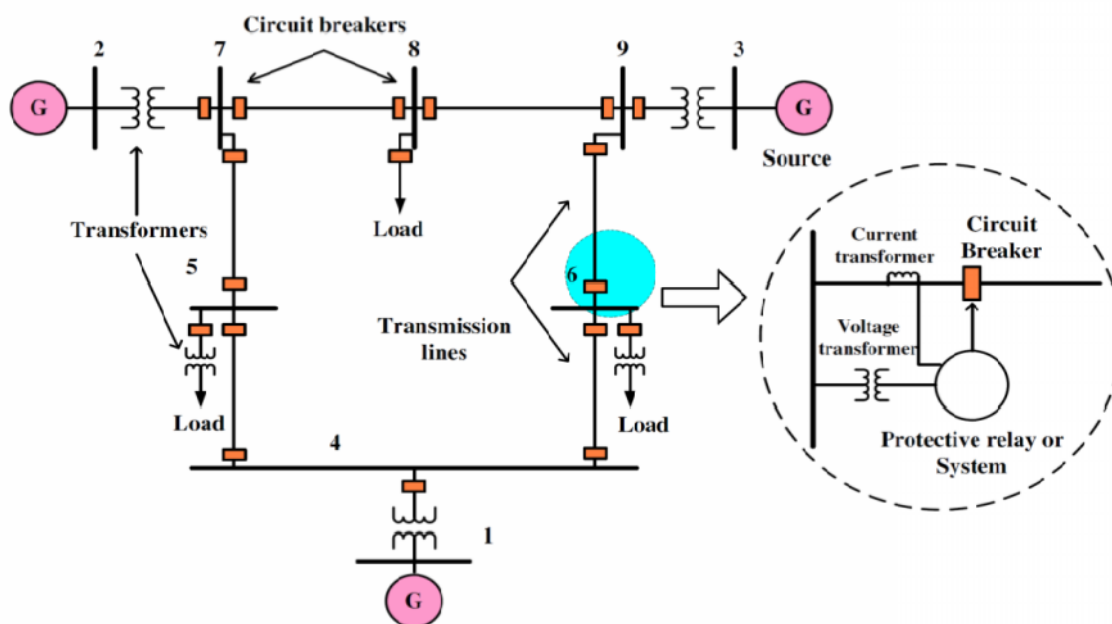


Figure IV.1. Les zones de protection d'un réseau électrique.

IV.3 Les protections du réseau HT

La protection principale pour une zone de protection donnée est appelée protection primaire. Elle doit fonctionner le plus rapidement possible et isoler et mettre hors service le minimum d'ouvrages du réseau. Du à plusieurs facteurs, la protection primaire peut ne pas fonctionner lors d'un défaut. Donc il est important d'ajouter à la protection primaire des protections supplémentaires ou réserve alternatives qu'on appelle protection de secours. Le système de protection de secours est un système de protection secondaire contre la plupart des défaillances du système de protection primaire d'un équipement. [2].

IV.3.1 Liaisons par câbles

IV.3.1.1 Protection principale

La protection principale est généralement une protection différentielle longitudinale, Cette protection est également basée sur le principe que tout courant qui entre dans une liaison est également à celui qui en sort. Toute inégalité indique un défaut. Cette protection s'utilise Pour détecter des courants de défaut inférieurs au courant nominal,

Pour déclencher instantanément puisque la sélectivité est basée sur la détection et non sur la temporisation.

La stabilité de la protection différentielle est sa capacité à rester insensible s'il n'y a pas de défaut interne à la zone protégée même si un courant différentiel est détecté :

- Courant magnétisant de transformateur,
- Courant capacitif de ligne,
- Courant d'erreur dû à la saturation des capteurs de courant.

➤ Protection différentielle à haute impédance

La protection différentielle à haute impédance est connectée en série avec une résistance (R_s) de stabilisation dans le circuit différentiel voir Figure IV.2.

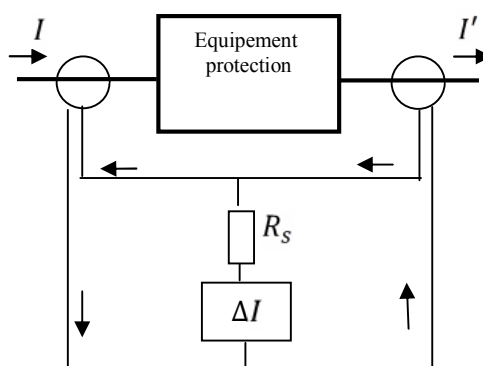


Figure IV.2. Schéma de protection différentielle à haute impédance.

➤ Protection différentielle à pourcentage

La protection différentielle à pourcentage (Figure IV.3.) est connectée indépendamment aux circuits des courants I et I' .

La différence des courants ($I - I'$) est déterminée dans la protection, et la stabilité (1) de la protection est obtenue par une retenue relative à la mesure du courant traversant $(I+I') / 2$. [3]

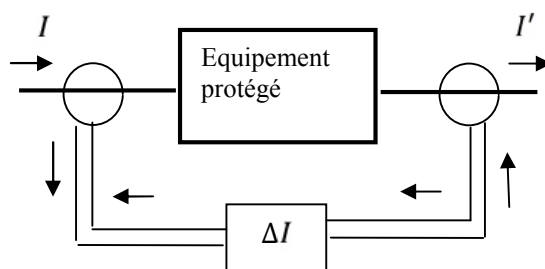


Figure IV.3. Schéma de protection différentielle à pourcentage

IV.3.1.2 Réglage de relais de protection

D'une façon générale, plusieurs paramètres sont à l'origine de l'existence d'un courant différentiel circulant dans le relais en régime de fonctionnement à vide ou en charge d'un transformateur

- Les rapports de transformation.
- Le couplage des enroulements.
- Le courant à vide.
- Les erreurs des transformateurs de courant.

Avec tous ces paramètres, il est impossible d'obtenir un courant différentiel nul, c'est la raison pour laquelle on adopte des protections différentielles à pourcentage sur les transformateurs.

Le courant différentiel limite de fonctionnement peut être réglé entre 20 % et 50 % du courant nominal de la protection (Figure IV.4). [3]

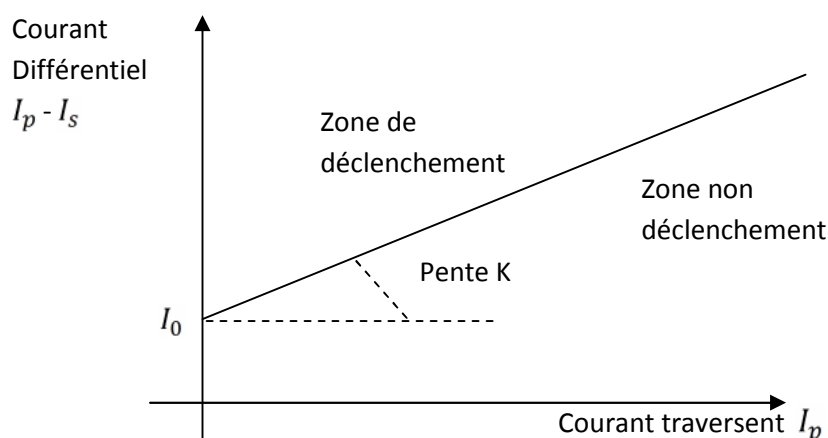


Figure IV.4. Courbe de déclenchement de la protection différentielle

IV.3.1.4 Protection de réserve

Ces secours est assuré seulement par des relais à maximum de courant. Il est, de ce fait, mal réalisé puisque les temporisations sont relativement hautes surtout pour les évacuations des centrales.

IV.3.1.5 Protection de surcharge (alarme)

C'est une protection à image thermique .Elle surveille l'échauffement du câble. Les paramètres importants pour le réglage sont le courant permanent maximum et la constante de temps thermique du câble.

IV.3.2 Liaison aériennes

IV.3.2.1 La protection principale

Généralement c'est une protection de distance. Jusque là, la conception électromécanique était suffisante. Toutefois, à partir de cette année il a été jugé utile d'adopter les protections statiques. A ces protections sont associés des réenclencheurs monophasés. Parce que les réseaux 60 ou 90Kv sont encore interconnectés le réenclenchement monophasé est toujours adopté.

Le réenclenchement triphasé est adopté sur les lignes en antenne et doit être envisagé chaque fois que les liaisons deviennent exploitées en boucle sur une même source.

IV.3.2.2 La protection de réserve

Seulement assurée par les protections à maximum de courant ou par le fonctionnement en troisième stade des protections de distance des postes éloignés.

Protection des éléments des réseaux électriques

Pace que trop lents et peu sélectifs, ces secours sont évidemment très aléatoires. Toutefois, en raison des faibles répercussions ressenties sur les matériels et sur la stabilité du réseau, ces protections sont jugées encore suffisantes.

IV.3.2.3 Protection complémentaires

C'est une protection résiduelle de puissance dont le rôle est l'élimination des défauts résistants que les protections de distance n'ont pu détecter. [11]

IV.3.2.4 les Jeux de barres

Dans la distribution électrique un jeu de barres désigne un conducteur de cuivre ou d'aluminium qui conduit de l'électricité dans un tableau électrique, à l'intérieur de l'appareillage électrique ou dans un poste électrique.

Le terme officiel est barre omnibus, mais il n'est guère employé. Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, il s'agit d'un conducteur de faible impédance auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés.

En HTB on utilise principalement deux technologies pour les jeux de barres :

- jeux de barres dits posés, consistant en des tubes reposant sur des isolateurs,
- jeux de barres dits tendus, consistant en des conducteurs flexibles suspendus par des chaînes d'isolateurs à des structures métalliques dites portiques .

La technologie des jeux de barres plats est rare en HTB, car sujette à l'effet couronne du fait de sa configuration rectangulaire.[12]

IV.3.2.5 Protection des jeux de barres

- Tous les supports d'une même barre sont reliés au réseau de terre par une connexion unique sur laquelle est disposé un tore raccordé à « n » relais de courant.
- Un amorçage monophasé sur une barre provoque le fonctionnement de ce relais et l'ouverture de tous les départs raccordés à cette barre.
- Les protections différentielles des barres permettent un isolement rapide et sélectivité du défaut par la mise hors tension de la seule barre en défaut.
- Le secours de la protection des barres est assuré par le fonctionnement en deuxième ou troisième stade des protections aux extrémités lointaines des liaisons. Ceci est suffisant. [11]

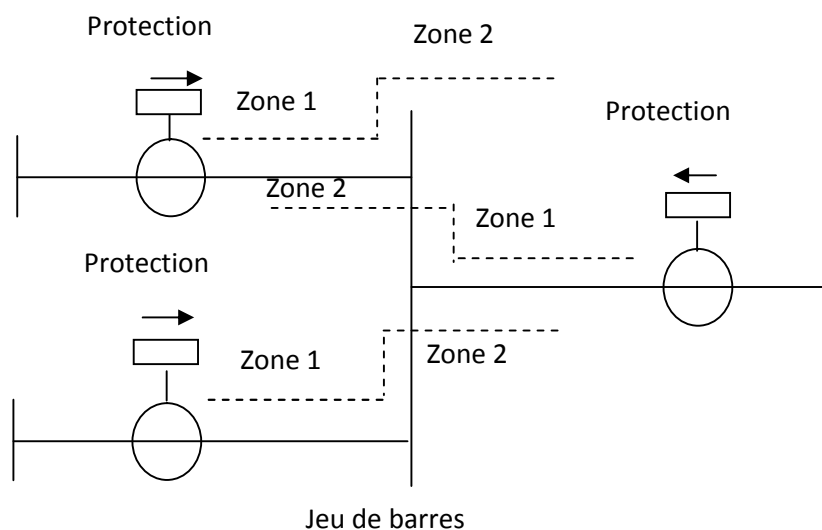


Figure IV.5. Protection d'un jeu de barres en secours

IV.3.2.6 Les protections de lignes des clients HT

Ne sont concernées pas les dispositions suivantes que les lignes alimentant un client géographiquement proche d'un poste de transport. Quant aux liaisons de grande distance, en antenne ou en coupure de ligne, elles sont traitées pareillement que les lignes du réseau national. Les dispositifs suivants sont suffisants

- protection de distance simplifiée.
- protection à maximum de courant.

IV.3.2.7 Les protections pour lignes courtes

Dans tous les cas où ces lignes courtes fonctionnent en régime bouclé, les protections différentielles conviennent le mieux.

L'utilisation des liaisons pilotes autoportées, dont la technique est d'insérer une quantité de paires téléphoniques à l'intérieur du câble de garde, a solutionné la sécurité physique de ces liaisons. Jusque là, elles étaient en effet soumises aux risques d'arrachement par les pelles mécaniques à chaque travail sur leur parcours. [11]

Protection des éléments des réseaux électriques

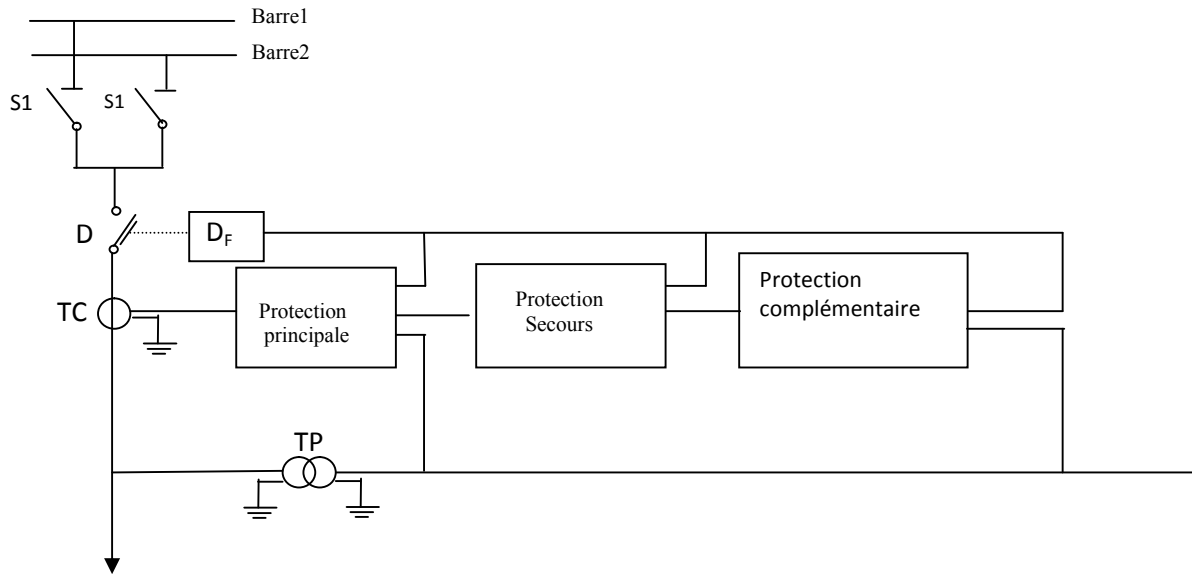


Figure IV.6. Schéma bloc de protection ligne HT

IV.4 Les protections moyennes tension (MT)

IV.4.1 transformateur

❖ Introduction

Un transformateur est une machine statique destinée à transformer un courant alternatif donné en un autre courant alternatif de même fréquence, mais de tension en général différente.

Ces appareils sont très utilisés sur le réseau de transport où ils servent à convertir à des tensions différentes l'énergie électrique transitée.

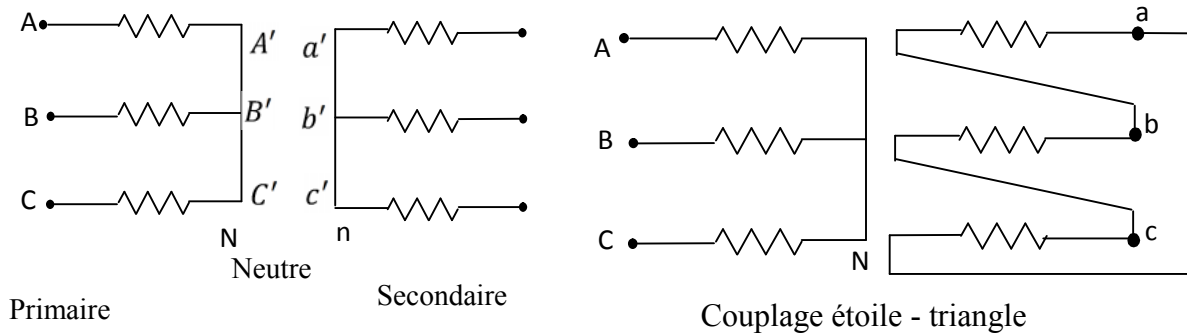
Le transformateur est l'équipement le plus important dans un poste de transport. Son coût est extrêmement élevé et son immobilisation en cas d'incident est toujours très longue. Pour cette raison, il doit être envisagé de sorte à réduire au maximum l'effet des éventuels incidents. Ceci peut s'effectuer via un système de protection très sophistiqué. [3]

❖ Principe de fonctionnement de transformateur

Il existe plusieurs façons de connecter les enroulements, pour les transformateurs triphasés de puissance, on rencontre surtout les couplages étoile-étoile et étoile-triangle. En pratique, on utilise des présentations schématiques telles que celles de la figure.2.

Protection des éléments des réseaux électriques

Les enroulements primaires sont repérés par des grandes lettres A, B, C, N et les enroulements secondaires par des petites lettres a, b, c, n.



Couplage étoile -étoile

Figure IV.7. Couplage des enroulements des transformateurs.

Par ailleurs, pour certains transformateurs de distribution, les enroulements du secondaire sont connectés en « zigzag ». Dans ce cas, chaque bobinage est divisé en deux moitiés sur deux noyaux différents et mises en série en sens inverse. Ce schéma évite les déséquilibres d'ampères-tours des autres montages.

IV.4.2 Autotransformateurs

Transformateur simplifié à un seul enroulement. Ne permet pas l'isolation galvanique, mais autorise un réglage fin de la tension secondaire par déplacement du curseur servant de connexion de sortie sur l'enroulement. [10]

❖ Avantages et inconvénients

L'autotransformateur présente des avantages et des inconvénients par rapport au transformateur. À performances égales, l'autotransformateur présente un encombrement moindre et une masse inférieure (moins de cuivre et moins de fer), ainsi que des pertes plus petites (pertes par effet joule et pertes ferromagnétiques).

Le principal inconvénient de l'autotransformateur est l'absence d'isolation galvanique, ce qui l'élimine de certaines applications. Les couplages utilisables en triphasé sont limités. [9]

IV.4.3 Protection du transformateur

Il est nécessaire de protéger efficacement le transformateur contre tous les perturbations susceptibles, aussi bien des réseaux situés en amont (coups de foudre, coupures de ligne, etc.) qu'en aval.

Les variations anormales de la température ambiante ou de la charge peuvent provoquer un échauffement des enroulements susceptible de compromettre la durée de la vie de l'appareil.

IV.4.3.1 Protection externe

❖ Protection à maximum de courant phase

Le transformateur HTB/HTA sera en général protégé par deux protections à maximum de courant, Protection coté haute tension (HTB) et Protection coté moyenne tension (HTA).

❖ Protection à maximum de courant coté HTB

C'est une protection contre les surcharges du transformateur et constitue, dans les limites de son réglage, une réserve aux protections maximum de courant coté HTA, un seuil d'intervention à temps constant, et devra être réglée comme suit

$$I_{\text{réglage}} = 2 \cdot I_{n1} \quad \text{Temps} = 2,5 \text{ se}$$

Où, I_{n1} : est le courant nominal du transformateur côté HT.

❖ Protection à maximum de courant coté HTA

C'est une protection contre les surcharges du transformateur et constitue, dans les limites de son réglage, une réserve aux protections de ligne MT. Elle sera à un seuil d'intervention à temps constant, et devra être réglée comme suit:

$$I_{\text{réglage}} = 1,3 - 1,4 \cdot I_{n2} \quad \text{Temps} = 2,0 \text{ sec}$$

Où, I_{n2} : est le courant nominal du transformateur côté MT.

Le choix du temps d'intervention est déterminé aussi bien par l'impératif d'assurer la sélectivité avec la protection de la ligne MT que par la nécessité de permettre la surcharge du transformateur durant de courts laps de temps, suffisants à l'accomplissement des transferts de charge.

❖ Protection de neutre HTA

La protection cotée haute tension sera à deux seuils d'intervention à temps constant. Le premier seuil devra être réglé à:

$$I_{\text{réglage}} = 2 - 3 \cdot I_{n1} \quad \text{Temps} = 0,8 \text{ sec}$$

Si on a un seul disjoncteur en aval du disjoncteur au départ MT.

Où: $t = 0,5 \text{ sec}$, si on n'a aucun disjoncteur en aval,

I_{n1} : est le courant nominal du transformateur coté HT.

Il est réglé de façon à intervenir pour des courts-circuits intéressant le transformateur, tout en gardant la sélectivité avec les lignes MT. Il constitue aussi la réserve de la protection de la ligne dans les limites permises par son réglage. Le second seuil devra être réglé à:

$$1,3 \cdot S_{nT} \cdot \frac{100}{\sqrt{3}} \cdot V_{n1} \cdot V_{cc} \quad \text{Temps} = 0,0 \text{ sec}$$

$1,3$: Coefficient d'insensibilité au défaut MT.

S_{nT} : Puissance nominale du transformateur en VA.

V_{cc} : Tension de court-circuit du transformateur en %.

V_{n1} : Tension composée nominale du transformateur côté HT en Volte.

I_{n1} : Courant nominale du transformateur Côté en Ampère.

Le deuxième seuil, côté HT, a pour but d'éliminer rapidement les courts-circuits sur le primaire du transformateur et son courant d'intervention est tel qu'il n'est pas sensible aux courts-circuits dans la tranche MT. Ce relais est prévu pour assurer la protection de la liaison reliant les bornes transformatrices et les barres MT contre les défauts à la terre. Il réalise aussi le secours du seuil homopolaire des protections des départs MT. Le réglage de cette protection est choisi inférieur au courant de réglage homopolaire du départ MT le plus bas réglé.

$$I_{\text{réglage}} = 0,95 I_{RH} \quad \text{Temps} = T_{MT} + \Delta T$$

Avec :

I_{RH} : Le courant de départ le plus pas réglé.

T_{MT} : Temporisation la plus élevée sur les départs MT.

L'action de cette protection est instantanée. Son seuil de fonctionnement est choisi égal à 5 % du courant de défaut monophasé au primaire du transformateur (coté HT).

$$I_{\text{réglage}} = 0,05 I_{cc \text{ mono}} \quad \text{Temps} = 0 \text{ sec}$$

❖ **Protection différentielle**

La protection différentielle du transformateur est obtenue par la comparaison de la somme des courants primaires à la somme des courants secondaires. L'écart de ces courants ne doit pas dépasser une valeur i_0 pendant un temps supérieur à t_0 , au-delà il y a déclenchement.

La protection différentielle transformatrice est une protection principale aussi importante que les protections internes transformatrices.

Cette protection à une sélectivité absolue, il lui est demandé, en plus, d'être très stable vis-à-vis des défauts extérieurs.[3].

IV.4.3.2 Protection interne

❖ **Protection par Buchholz**

Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve d'un transformateur décomposent certaine quantité d'huile et provoquent un dégagement gazeux. Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve de transformateur et de là vers le conservateur à travers un relais mécanique appelé relais BUCHHOLZ (Figure. IV.8). Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile. Si ce mouvement est faible, il ferme un contact de signalisation (alarme BUCHHOLZ).

Par ailleurs, un ordre de déclenchement est émis au moyen d'un autre contact qui se ferme en cas de mouvement important. Les gaz restent enfermés à la partie supérieure du relais, d'où ils peuvent être prélevés, et leur examen permet dans une certaine mesure de faire des hypothèses sur la nature de défauts :

- ✓ Si les gaz ne sont pas inflammables on peut dire que c'est l'air qui provient soit d'une poche d'air ou de fuite d'huile.
- ✓ Si les gaz s'enflamment, il y a eu destruction des matières isolantes donc le transformateur doit être mis hors service.

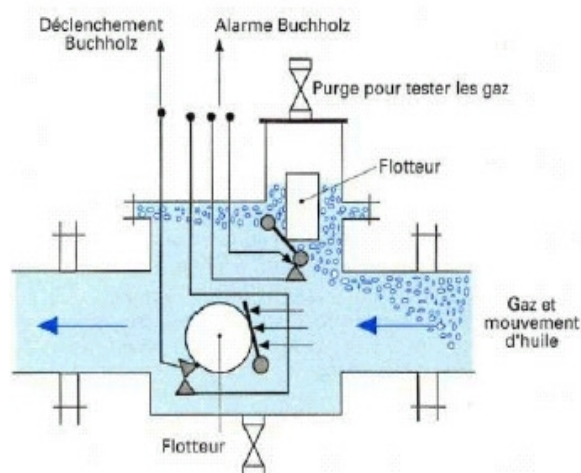


Fig. IV.8. Relais BUCHHOLZ.

Cette protection sera à deux niveaux pour le transformateur: le premier donnera un signal d'alarme, le second un signal de déclenchement. Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve d'un transformateur décomposent une certaine quantité d'huile et provoquent un dégagement gazeux dont le volume est supérieur à celui de l'huile décomposée

- Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve du transformateur et de là, vers le conservateur.
- Pour détecter le dégagement gazeux, on intercale sur la canalisation reliant la cuve au conservateur un relais BUCHHOLZ.
- Pour le régulateur en charge il est prévu un seul niveau qui donnera un signal de déclenchement.
- Le gaz qui s'est accumulé dans la cloche du relais peut être récupéré et analysé, ce qui permet d'obtenir des indications sur la nature et l'emplacement du défaut. Il existe trois niveaux d'analyse.
- Analyse visuelle, si le gaz est
 - Incolore c'est de l'air. On purge le relais et on remet le transformateur sous tension,
 - Blanc c'est qu'il y a échauffement de l'isolant,
 - Jaune c'est qu'il s'est produit un arc contournant une cale en bois,
 - Noir c'est qu'il y a désagrégation de l'huile.

❖ Protection de masse cuve

Une protection rapide, détectant les défauts internes au transformateur, est constituée par le relais de détection de défaut à la masse de cuve (Figure IV.9). Pour se faire, la cuve du transformateur, ses accessoires, ainsi que ses circuits auxiliaires doivent être isolés du sol par des joints isolants.

La mise à la terre de la cuve principale du transformateur est réalisée par une seule connexion courte qui passe à l'intérieur d'un TC tore qui permet d'effectuer la mesure du courant s'écoulant à la terre.

Tout défaut entre la partie active et la cuve du transformateur est ainsi détecté par un relais de courant alimenté par ce TC. Ce relais envoie un ordre de déclenchement instantané aux disjoncteurs primaires et secondaires du transformateur.

Une protection de cuve sera prévue contre les défauts à la terre qui se produisent à l'intérieur du transformateur. La cuve du transformateur doit être isolée de la terre.

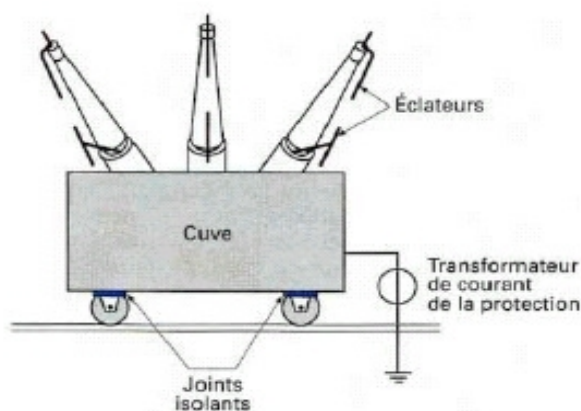


Figure IV.9. Protection de cuve

La protection de cuve (Fig. IV.10) est constituée par un relais à maximum de courant, alimenté par un TC du genre tore dont le primaire est une jonction visible et continue entre la cuve du transformateur et le réseau de terre.

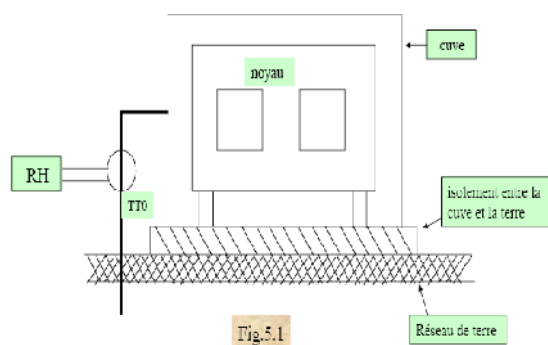


Figure IV.10. Placement de TC tore.

✓ **Remarque**

Les transformateurs dotés d'une protection différentielle ne sont pas équipés en protection masse cuve.

❖ **La protection thermique**

Elle est utilisée pour protéger les machines (moteur, alternateur et le transformateur de puissance) contre les surcharges.

Pour détecter l'existence d'une surcharge, elle fait une estimation de l'échauffement des bobines primaire et secondaire à protéger à partir de la mesure du courant. La protection détermine l'échauffement E des transformateurs à partir d'un modèle thermique défini par l'équation différentielle suivante :

$$\tau \cdot \frac{dE}{dt} + E = \left(\frac{I}{I_n}\right)^2$$

Avec, E : Échauffement,

τ : Constante de temps thermique de la transformateur,

I_n : Courant nominal,

I : Courant efficace.

L'apport calorifique par effet de Joule $R \cdot I^2 \cdot dt$ est égale à la somme de (Fig. IV.11)

- 1- L'évacuation thermique de transformateur par convection avec le milieu extérieur (T_e),
- 2- La quantité de chaleur emmagasinée (T_i) par le transformateur par élévation de sa température.

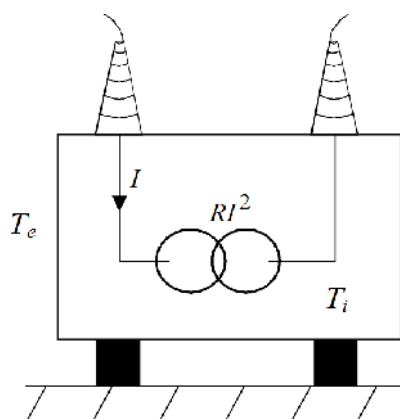


Figure IV.11. Différentes températures au transformateur.

❖ La protection par DGPT

Le DGPT (DéTECTeur Gaz, Pression et Température) est un dispositif de protection utilisé pour les transformateurs isolements liquides. Ce dispositif détecte les anomalies au sein du diélectrique liquide telles que émission de gaz, élévation de pression ou de température, et provoque la mise hors tension du transformateur.

Il est principalement destiné à la protection des transformateurs immergés étanches à remplissage total. Pour un défaut grave, le dégagement gazeux est recueilli en un point haut au relais, une accumulation trop importante provoque une alarme.

IV.4.4 Protection des transformateurs HTA/BT

Ce type des transformateur est protégé par des fusibles HTA, et le choix de calibre des ces fusible suite au tableau IV.12 suivant

Tension de service (kV)	Tension assignée (kV)	Puissance des transformateurs HTA/BT (kVA)											
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
5,5	7,2	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	80	100	125
10	12	6,3	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80
30	36			6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5

Figure IV.12. Choix de calibre de fusible HTA pour protection transformateur HTA/BT.

IV.4.5 Protection des Départs HTA

IV.4.5.1 Protection à maximum de courant phase

Ce seuil protège la ligne contre les surcharges inadmissibles (Première seuil : $I_{ph} >$) et les court circuits entre phases (Deuxième seuil $I_{ph} \gg$).

Son réglage tient compte du courant de surcharge maximal (défini par le courant admissible des conducteurs ou par le courant de surcharge maximal des transformateurs de courant de la ligne) et du courant de défaut minimal en bout de la ligne (défaut biphasé). Le temps d'action de cette protection ne dépasse en aucun cas 1 seconde.

$$I_{\text{surchage}} < I_{\text{CC}} \cdot \text{min} \quad \text{Temps(MT)} \leq 1\text{sec}$$

❖ La protection à temps indépendant

la temporisation est constante, elle est indépendante de la valeur du courant mesuré, le seuil de réglage sont généralement réglables par l'utilisateur (voir Figure IV.13.)

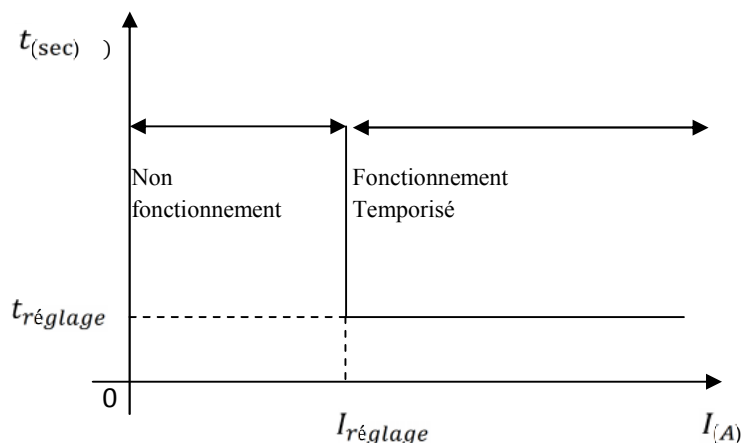


Figure IV.13. Protection a maximum de courant à temps indépendant

❖ La protection à temps dépendant

La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement. Plus le courant est élevé et plus la temporisation est faible (Figure IV.14).

Elles définissent plusieurs types : à temps inverse, très inverse, et extrêmement inverse. Pour une temporisation réglée à 1 seconde le courant de déclenchement est $10 \times I_S$.

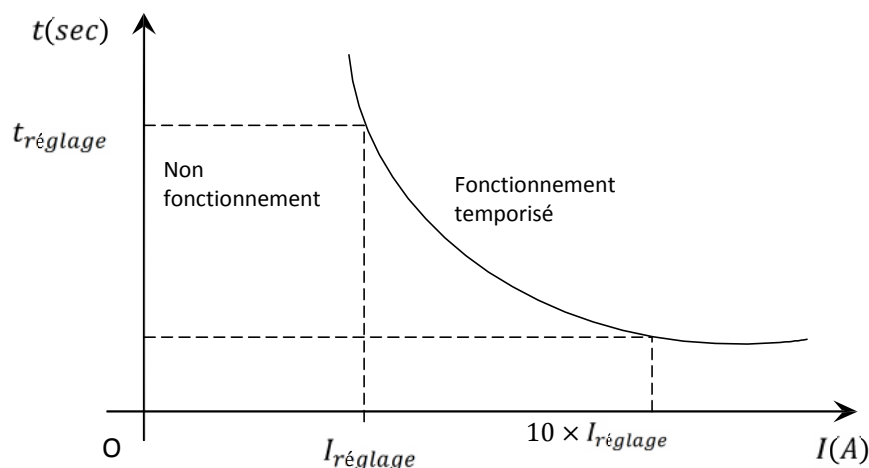


Figure IV.14 Protection à maximum de courant à temps dépendant

IV.4.5.2 Protection de maximum de courant homopolaire

Cette protection protège le départ contre les défauts à la terre. Le courant résiduel qui caractérise le courant de défaut à la terre est égal à la somme vectorielle des 3 courants de phase. Le courant résiduel est égal à 3 fois le courant homopolaire I_0 .

$$I_{\text{rsd}} = 3.I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

Il y a deux méthodes pour caractériser le courant résiduelle

- ✓ Par la mesure directe sur le TC tore,
- ✓ Par le calcul à partir de trois TC phase,

Le réglage est choisi de façon à rester insensible au courant capacitif circulant dans le neutre lors des défauts proches sur les autres départs du poste.

Il doit pouvoir détecter le courant de court-circuit minimal. Sa temporisation est commune au seuil violent du courant de phase.

Elle est généralement très basse

$$I_{c0} < I_{\text{réglage}} < I_{cc \text{ min}} \quad \text{Temps (MT)} \leq 1 \text{ sec}$$

Avec: I_{C0} c'est le courant capacitif du départ.

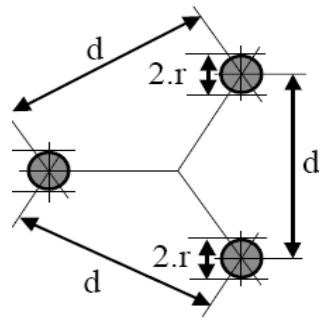
La composante homopolaire de la tension et du courant d'un système triphasé (a, b et c) se calcule grâce à la matrice de **Fortescue**

$$\begin{cases} V_0 = \frac{1}{3} \cdot (V_a + V_b + V_c) \\ I_1 = \frac{1}{3} \cdot (I_a + I_b + I_c) \end{cases}$$

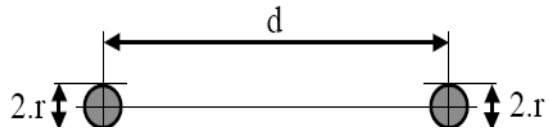
Ainsi d'un système équilibré: $V_0 = 0$ et $I_0 = 0$.

Le courant de neutre $I_n = (I_a + I_b + I_c)$ dans un branchement étoile d'une charge est donc lié au courant homopolaire par la relation: $I_n = 3.I_0$. Le courant capacitif dans les lignes (Fig. IV.15) et les câbles (Fig. IV.16) moyenne tension est calculer suit ces formules

❖ Pour les lignes aériennes



(b) Ligne triphasée.

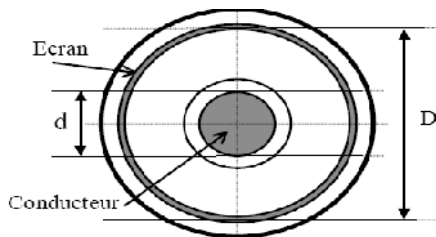


(a) Ligne monophasée.

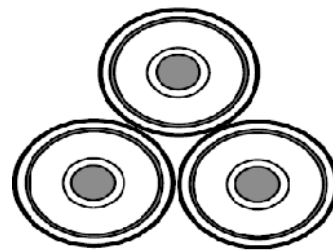
Figure IV.15. La capacité des lignes électriques moyenne tension.

- Pour la ligne monophasée $c = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)}$
- Pour la ligne triphasée $c = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)}$

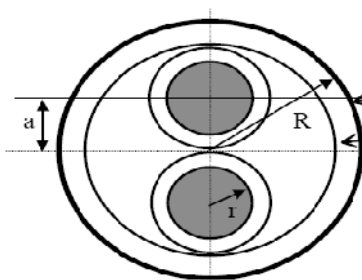
❖ Pour les câbles souterrain



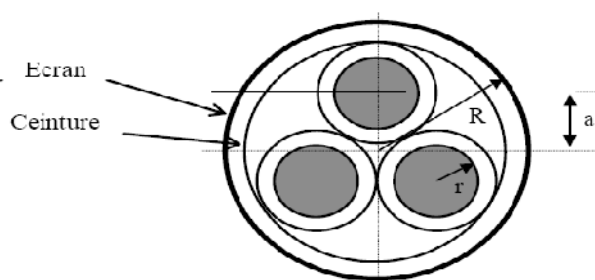
(a) Câble monopolaire.



(b) Câble tripolaire à champ radial.



(c) Câble à deux conducteurs.



(d) Câble à trois conducteurs.

Figure IV.16. La capacité des câbles électriques moyenne tension

Protection des éléments des réseaux électriques

- Pour le câblé à deux conducteurs $c = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{36 \cdot \ln\left(\frac{2a}{r} \cdot \frac{(R^2 - a^2)}{(R^2 - a^2)}\right)}$ en μ F/Km.
- Pour le câblé à trois conducteurs $c = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{9 \cdot \ln\left(\frac{3a^2}{r^2} \cdot \frac{(R^2 - a^2)^3}{(R^6 - a^6)}\right)}$ en μ F/Km.

IV.4.5.3 Protection de terre résistant

Cette protection est destinée à protéger les lignes moyenne contre les court circuit à la terre avec résistance très résistant d'ordre 11 k Ω en 10 kV et 35 k Ω en 30 kV, c'est une protection centralisée et non sélective.

$$I_{\text{réglage}} = 5A$$

$$\text{Temps} = 5 \text{ sec}$$

IV.5 Automate de réenclencher

La plupart des défauts dans les réseaux de distribution MT aérien sont du type défaut fugitif, afin de limiter la durée de la coupure d'électricité des clients au minimum, les différents automates de reprise de service (réenclencher) sont installés sur les départs. Sur les départs aériens du réseau de distribution MT issue d'un poste source, on peut trouver un disjoncteur commandé par un dispositif de réenclenchement triphasé avec les cycles rapide et lent.

L'instruction d'action de réenclencher est automatiquement effectuée selon les étapes consécutives ci-dessous :

❖ Cycle rapide

C'est le cycle de déclenchement réenclenchement triphasé rapide. Après 150 ms du moment de l'apparition du défaut, le disjoncteur est ouvert pour coupure de l'alimentation du réseau en défaut.

La durée de mise hors tension est d'environ 300 ms pour permettre la désionisation de l'arc électrique.

Si le défaut est éliminé après un cycle rapide, il est de type défauts fugitifs.

❖ Cycles lents

si le défaut réapparaît après la fermeture du disjoncteur à la fin du cycle rapide, on effectue automatiquement un cycle de déclenchement réenclenchement triphasé lent. Un deuxième déclenchement a lieu 500 ms après la réapparition du défaut. La durée de coupure est de 15 à 30 secondes.

Ce cycle peut être suivi d'un deuxième cycle analogue; c'est le cas général lorsqu'il

Protection des éléments des réseaux électriques

est fait usage d'interrupteurs aériens à ouverture dans le creux de tension (IACT). Si le défaut est éliminé après les cycles lents, il est de type défauts semi permanents.

❖ **Déclenchement définitif**

si le défaut persiste encore après des cycles de réenclenchement (cycle rapide, 1 ou 2 cycles lents), c'est un défaut permanent.

Le disjoncteur est déclenché après 500 ms jusqu'à la fin de l'intervention nécessaire. (Voir la figure IV.17).

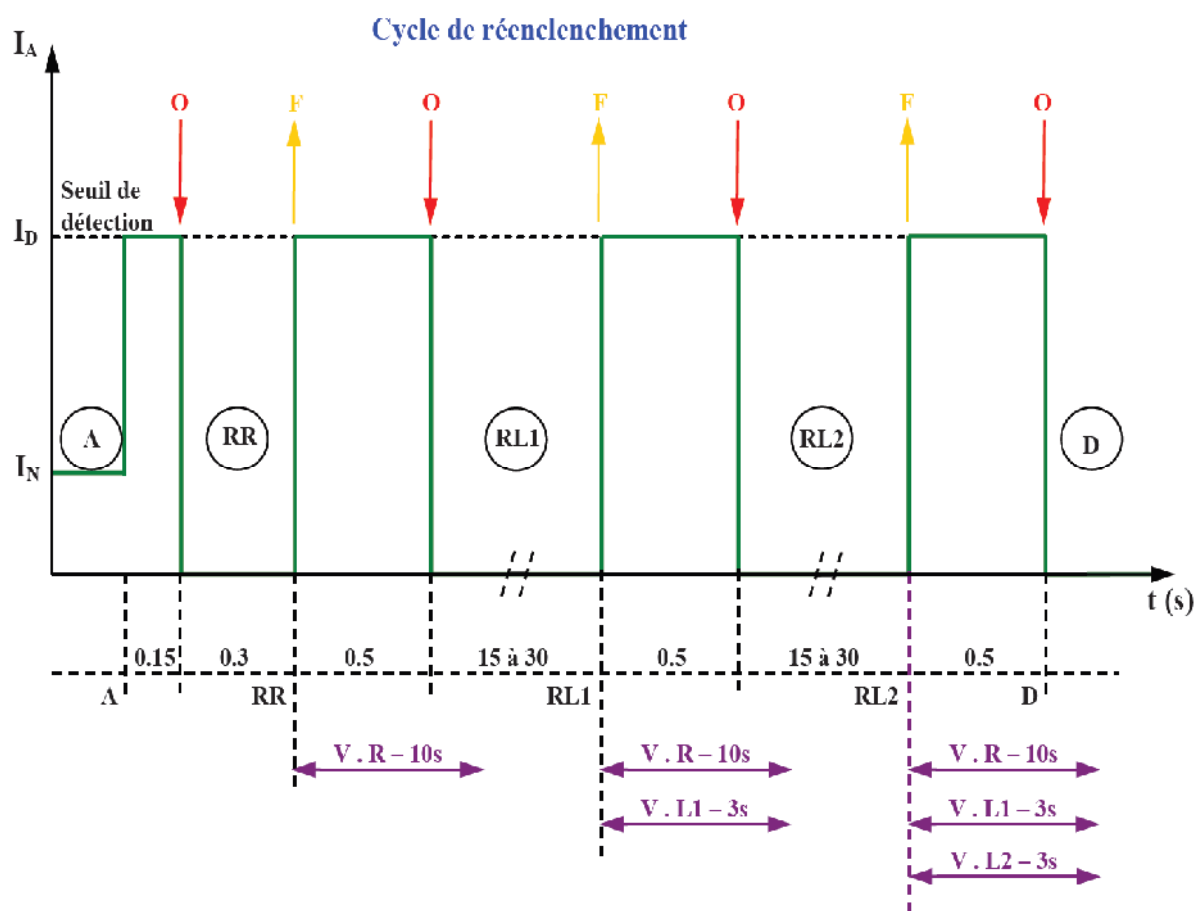


Figure IV.17. Diagramme des cycles de réenclencheurs

Avec

A : Apparition d'un courant de défaut sur le départ,

D : Déclenchement définitif,

F : Fermeture du disjoncteur,

Protection des éléments des réseaux électriques

O : Ouverture du disjoncteur.

RL : Réenclenchement lent (lent 1 et lent 2).

RR : Réenclenchement lent.

VR : Verrouillage réenclenchement rapide pendant 10 à 15 secs.

V. L1 : Verrouillage réenclenchement lent 1 pendant 3 secs.

V. L2 : Verrouillage réenclenchement lent 2 pendant 3 secs.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait l'état de l'art de la protection qui existe au niveau du réseau de distribution électrique HT et MT, c'est protection il et très importante pour éliminé maximum les perturbations.

Conclusion générale

Nous nous sommes tout particulièrement intéressés dans ce mémoire, aux réseaux de répartition et distribution.

Dans le premier chapitre nous avons vu dans quel contexte se situent la structure générale des réseaux et leur type (d'après la topographie et le niveau de tension) ainsi que les composants des réseaux (les lignes, les supports, les appareils de protections, les appareils de commande, les isolateurs, et les postes de transformation) ces éléments sont très nécessaires pour assurer la continuité de l'alimentation en électricité au consommateur.

On a énuméré dans le second chapitre les différentes architectures des postes HTB et HTA, leur fonctionnement, avantages et inconvénients.

Mais il y a des risques d'apparition d'un incident sur le réseau n'est pas nul car lié à de nombreux paramètres aléatoires, comme court-circuit et échauffement, il est provoqué la sûreté des réseaux.

Compte tenu de la quantité de données et de la complexité des problèmes, une gestion efficace des réseaux électriques passe obligatoirement par l'utilisation de la protection. C'est un outil indispensable dans les sociétés pour assurer la continuité de service.

Il nous a paru nécessaire de donner assez d'informations sur les différents éléments qui composent un système de protection haute et moyenne tension. Ces éléments sont très importants, très sensibles et doivent être bien choisis (sélectivité) et bien réglés afin d'assurer une protection efficace. Tout cela est détaillé dans un troisième chapitre.

On a donc besoin de protections non seulement des ouvrages mais aussi tout le système électrique dont l'équilibre est fragile.

On a consacré dans un quatrième chapitre, la protection de tous les ouvrages (transformateur, jeu de barres et les lignes) des réseaux haute tension et moyenne tension par différents types de protection.

Références Bibliographiques

- [1] M. MEDIAZA Med Lamin et SAIDANI Nabil « **la maintenance des réseaux électrique MT** » mémoire de fin étude 2010/2011 Université Batna.
- [2] M. TOLBA Amrane « **coordination orientée objet de la protection des réseaux électriques** » mémoire Université Batna.
- [3] Mr. ZELLAGUI Mohamed « **étude des protections des réseaux électrique MT (30 & 10 kV)** » mémoire magistère Université Mentouri Constantine.
- [4] Mr LABED Djamel « **Production décentralise et couplage des réseaux** » mémoire de fin étude Université Mentouri Constantine.
- [5] Dr. BENACHAIBA Chellali Maître de conférences « **protections des réseaux électrique** »
- [6] « **cahier technique n 200 sélectivités de protection** ».
- [7] « **site internet Zakaria 2009/2010** ».
- [8] HAMMOUD Asif « **étude de convertisseur haute tension pour la protection et la coordination d'un réseau de distribution** » thèse 2010 l'institut nationale des Sciences Appliquées de Lyon.
- [9] Aide « **mémoire électrotechnique** » Dunod Paris, 2006.
- [10] G. Pinson « **Physique Appliquée Transformateur C 24/1** ».
- [11] BENABID Mohamed Bachir « **les protections du réseau électrique a SONELGAZ** » office des publications universitaires.
- [12] http://fr.wikipedia.org/wiki/Jeu_de_barres
- [13] Georges VALENTIN « **Postes à moyenne tension** » Techniques d'ingénieur .
- [N 158 tech] « **cahier technique** »