

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945 – Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique

N/621.858



Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux Electriques



**Mémoire de fin d'études
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Calculs des courants de court-circuit

Présenté par :
Guerroui Ahmed
Sadaoui Hassan

Sous la direction de :
M.kachi

Juin 2015

REMERCIEMENT



ON TENONS À REMERCIER :

NOTRE ENCADREUR MR: M. KACHI POUR SON SUIVI
CONTINU AINSI QUE SA BONNE ORIENTATION DU TRAVAIL
NOUS REMERCIONS ÉGALEMENT LES MEMBRES DE JURY:

-FRAGA.CH UNIV.GUELMA

-BOULOUH.M UNIV.GUELMA

D'AVOIR ACCEPTÉS D'HONORER PAR LEUR PRÉSENCE LA
SOUTENANCE

DE NOTRE MÉMOIRE DE MASTER.

ENFIN JE REMERCIE TOUS CEUX QUI M'ONT AIDÉS DE PRÈS OU

DE LOIN

AFIN D'ACHEVER CE TRAVAIL.



SOMMAIRE

Introduction Générale	1
Chapitre 1 Les réseaux électriques	
I-1. Définition	3
I-2. Constitution et éléments d'un réseau électrique	3
I-2.1. Les niveaux de tensions des réseaux	3
I-2.2. Topologie des réseaux	4
I-2.3. Description des réseaux électriques	5
a- Le réseau de transport THT	5
b- Le réseau de répartition HT	6
c- Le réseau de distribution MT	6
d- Le réseau de livraison BT	10
I.3. Les centrales électriques	11
a- Les centrales thermiques.....	12
b- Les centrales nucléaires.....	12
c- Les centrales hydroélectriques.....	13
d- Les centrales solaires ou photovoltaïques.....	14
e- Les centrales éoliennes.....	14
I.4. Les postes électriques	15
a- Différents types de postes électriques.....	15
b- Principe de fonctionnement.....	15
c- Les différents éléments d'un poste.....	16
I.5. Les lignes électriques	17
I.5.1. Lignes aériennes.....	17
I.5.1.1. Différents types de lignes aériennes.....	17
a- Lignes de distribution BT.....	17
b- Lignes de distribution MT.....	17
c- Lignes de transport HT.....	17
d- Lignes de transport THT.....	18
I.5.1.2. Composants des lignes aériennes.....	18
a- Pylônes.....	18
b- Les câbles conducteurs.....	18
c- Câbles de garde.....	19
d- Balises.....	19
e- Les isolateurs.....	20
f- Les Parafoudres.....	20
j - Eclateurs à cornes.....	21
I.5.2. Les lignes souterraines.....	21
I.6. Disjoncteur à haute tension.....	22

I.7. Sectionneurs.....	23
I.8. Les fusibles.....	23
I.9. Interrupteurs.....	23
I.10. Transformateur.....	24
I.10.a. Principe de fonctionnement.....	24
I.10.b. Le circuit magnétique.....	24
I.10.c. Les enroulements.....	25
I.10.d. Composants associés au transformateur de puissance.....	26

Chapitre 2 Les courts-circuits

II-1 Les différents types du court- circuit.....	28
II-1-1 Court- circuit triphasé à la terre.....	29
II-1-2 Court circuit triphasé isolé de la terre.....	32
II-1-3 Puissance de court –circuit.....	33
II-1-4 Court –circuit asymétrique.....	33
II-1-4-1 Court –circuit biphasé non à la terre.....	33
II-1-4-2 Court –circuit biphasé à la terre.....	36
II-1-4-3 Court-circuit monophasé.....	40
II-1-4-3-1 Régimes du neutre.....	40
a- Régime TT.....	40
b- Régime TN.....	41
c- Régime IT.....	42
II-1-4-3-2 Analyse d'un défaut phase – terre.....	42
II-1-5 Force électrodynamique résultante lors d'un court- circuit.....	46
II-1-6 Echauffement des conducteurs	46
II-1 Méthodes de calcul des courants de court-circuit.....	47
II-1-1 La méthode des impédances.....	47
II-1-1-1 Démarche analytique.....	47
II-1-1-2 Démarche numérique.....	47
II-1-1-3 Algorithme.....	48
II-1-1-3-1 Méthode de calcul de la tension équivalente utilisée pour les courants de court-circuit maximum.....	49
II-1-1-3 -2 Méthode de calcul de la tension équivalente pour les courants de court-circuit minimum.....	49
II-1-1-4 Algorithme de Newton-Raphson.....	49
II-1-2 La méthode des composantes symétriques.....	50
II-2- Protection contre les surintensités.....	53

II-2-1- Les différents types de défaut	53
II-2-1-1- La surcharge	53
II-2-1-2- Le court – circuit	53
II-2-2-Appareillages de protection	54
II-2-2-1 Coupe-circuit à fusibles	54
1.1. Rôle	54
1.2. Symbole	54
1.3. Constitution	54
1.4. Caractéristiques principales	55
1.4.1.Courant nominal ou calibre d'une cartouche fusible I_n	55
1.4.2.Tension nominale d'une cartouche fusible U_n	55
1.4.3.Courant de fusion I_f	55
1.4.4.Courant de non fusion I_{nf}	55
1.4.5.Temps de préarc, temps d'arc et temps de coupure	56
1.4.6. Pouvoir de coupure d'une cartouche fusible	56
1.4.7.Caractéristiques temps/courant d'une cartouche fusible	56
1.5.Choix d'un fusible	57
II-2-2-2 Relais thermique	58
1. Rôle	58
2. Symbole	58
3. Constitution	58
4. Principe de fonctionnement	58
5. Principe du dispositif différentiel	59
6. Principe de la compensation en température	59
7. Courbe de déclenchement	60
II-2-2-3 Relais magnétique (électromagnétique)	61
1.Rôle	61
2.Principe de fonctionnement	61

3.Symbole	61
II-2-2-4 Disjoncteurs	62
1.Rôle	62
2.Symbole	62
3.Constitution	62
4.Différentes techniques utilisées par les disjoncteurs	63
4.1.Thermique	63
4.2.Magnétique	64
4.3.Différentielle	65

Chapitre 3 Calcul des courts-circuits

III-1- Ordre du calcul des courants de court –circuit	68
III- 1- 1- Schéma équivalent du réseau	68
III-1-2- Expression des paramètres relatifs de base	68
III-1-3- Calcul des réactances en unité relatives	70 ✓
III - 2- CALCULS DES COURANTS DE COURT – CIRCUIT	72
III - 2- 1- CALCUL DU COURANT DE COURT CIRCUIT I_{cc1}	72
III-2-3- Calcul du courant de court-circuit I_{cc3}	74
III-2-4- Calcul du courant de court –circuit I_{cc4}	76
III-2-5-Calcul du courant de court-circuit I_{cc5}	78
III-2-6 Calcul du courant de choc	80
Conclusion.....	81
List des figures.....	82
Bibliographie.....	84

Introduction

L'énergie électrique aujourd'hui est présente dans la vie quotidienne de pratiquement tous les habitants de la planète. C'est une forme d'énergie facilement transportable et pratique à convertir en d'autres formes : mécanique, thermique, etc....

L'énergie électrique est acheminée quasi exclusivement par des réseaux électriques. Ces réseaux sont à l'échelle continentale (l'Europe constitue, par exemple, un gigantesque réseau dans son fonctionnement normal), et ce pour des raisons techniques et économiques. Ils constituent une plaque tournante du marché de l'énergie. Leur fonctionnement est au cœur des problématiques actuelles liées à l'énergie.

Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout continuité du service. Par ailleurs, la protection des réseaux électriques est un aspect très important permettant à la fois la préservation de l'équipement mais aussi, et en conséquence, la réduction des temps d'interruption suite aux défauts.

Un bon plan de protection se base en partie sur le choix et le dimensionnement de l'appareillage de protection. Le dimensionnement à son tour est lié généralement à la valeur de la grandeur contre qui on doit se protéger. Ainsi, la protection contre les surintensités provenant du courant de court circuit nécessite la connaissance de la valeur du courant de court circuit au point de protection. Dans ce cas, le calcul des courants de court-circuit est une étape préliminaire, indispensable au réglage des valeurs-seuil des relais de protection dans le réseau pour un déclenchement plus rapide.

Notre travail consiste à présenter le calcul du courant de court circuit dans un réseau électrique de configuration connue. Le mémoire est composé de trois chapitres :

- Le premier présente des généralités sur la constitution des réseaux électriques leurs types et classement.
- Le deuxième chapitre présente les méthodes de calcul des courants de court-circuit
- Le troisième chapitre contient l'application au calcul d'un courant de court-circuit.

Chapitre 1

Les réseaux électriques

Un réseau électrique étant composé de machines de production et de consommation, mais aussi de structures (lignes, transformateurs) pour les relier. Les réseaux électriques ne sont apparus que vers la fin XIXe siècle, quand chaque élément avait atteint une maturité technologique suffisante.

L'électricité est une énergie souple et adaptable mais elle est difficilement stockable, alors que la consommation des clients et la coïncidence de la demande sont constamment variables.

Ces exigences nécessitent la permanence du transport et la mise à disposition de l'énergie par un réseau de distribution :

- « Haute Tension » pour les fortes puissances et les longues distances. *▷ MT ?*
- « Basse Tension » pour les moyennes et faibles puissances et les courtes distances.

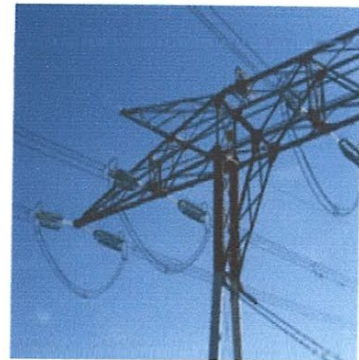


Fig. I.1 : ligne 400 kV

Sur l'illustration ci-dessous (Fig. I.2), nous voyons l'organisation du transport de l'énergie électrique de la centrale de production (centrale nucléaire, centrale thermique classique, centrale hydroélectrique, etc.) vers les gros utilisateurs (grands centres de consommation), agglomérations, réseau ferroviaire, industrie via le réseau de répartition, puis vers l'utilisateur final (villes, grandes surface, habitation, petite industrie) via le réseau de distribution.

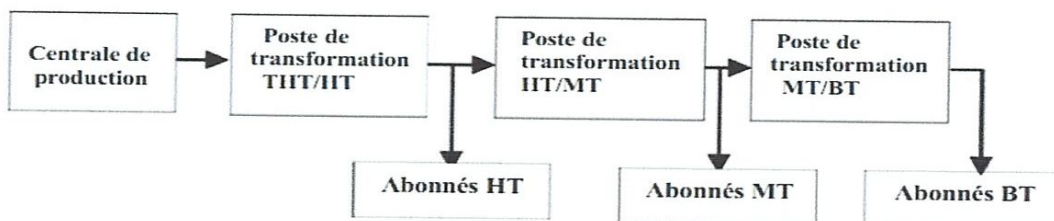


Fig. I.2 : Schéma d'un réseau électrique

I – 1. Définition :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques.

I – 2. Constitution et éléments d'un réseau électrique :

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux maisons de campagne les plus éloignées (Fig. I.2). Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... etc., avec les centres de consommation (villes, usines...).

L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité) puis progressivement abaissées au niveau de la tension de l'utilisateur final.

I – 2. 1. Les niveaux de tensions des réseaux :

Les réseaux électriques sont hiérarchisés (Fig. I.3), d'une façon générale, la plupart des pays mettent en œuvre :

- Un réseau de transport THT 220 800 KV
- Un réseau de répartition HT 60 170KV
- Un réseau de distribution MT 5 36 KV (selon CEI)
- Un réseau de livraison de l'abonné BT 400/230 V

Cette hiérarchie c'est-à-dire, les niveaux de tensions utilisés varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques, sa surface et finalement des critères technico-économiques.

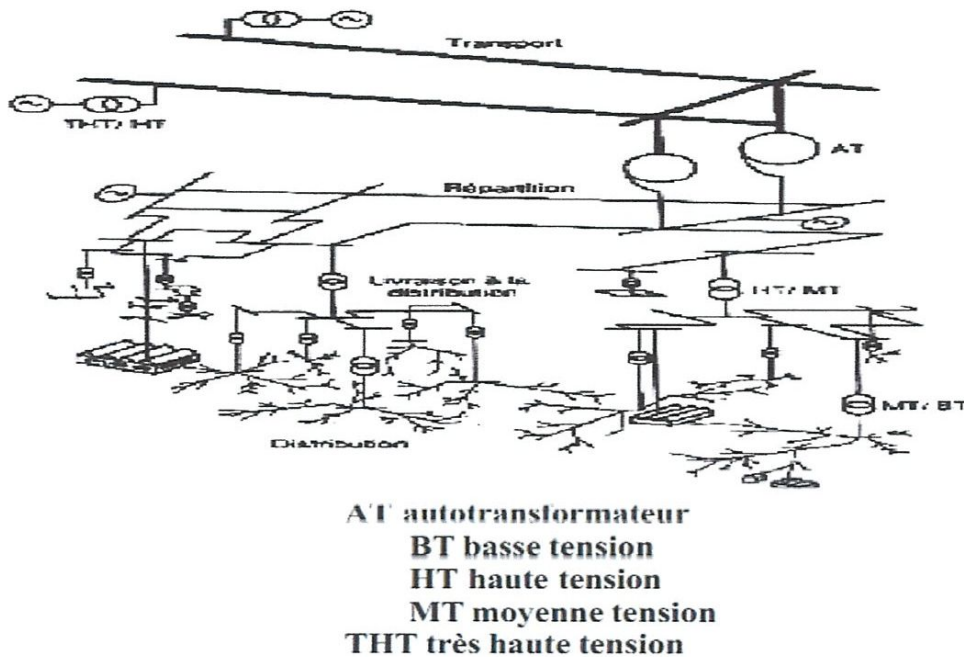


Fig. I.3: Hiérarchisation d'un réseau

I-2. 2. Topologie des réseaux :

Les réseaux de transport d'énergie et d'interconnexion sont, par nature, constitués d'ouvrages capables de forts transits et maillés. Les liaisons forment des boucles, réalisant ainsi une structure semblable aux mailles d'un filet (Fig. I.4.a).

Les réseaux de répartition qu'ils alimentent ont fréquemment une structure bouclée (Fig. I.4.b) et peuvent alors être exploités soit en boucle fermée, le réseau est dit bouclé, soit en boucle ouverte, le réseau est alors dit débouclé. Certaines alimentations se font aussi en antenne (poste G, Fig. I.4.b) ou encore en piquage en prélevant une partie de l'énergie circulant sur une ligne reliant deux postes (poste H, Fig. I.4.b).

Ces réseaux de répartition à caractère régional fournissent l'énergie aux réseaux de distribution qui sont des réseaux à moyenne tension assurant l'alimentation d'un grand nombre d'utilisateurs soit directement, soit après transformation en basse tension.

Leur configuration et leur mode d'exploitation sont variables. On peut trouver, selon les pays, des réseaux maillés exploités débouclés, des réseaux à structure radiale (Fig. I.4.d) ou des réseaux à structure arborescente (Fig. I.4.c).

D'une façon générale, ce sont les caractéristiques des sources de production, les besoins des utilisateurs et l'expérience d'exploitation qui, ajoutés à des considérations économiques conduisent à choisir la structure topologique des réseaux.

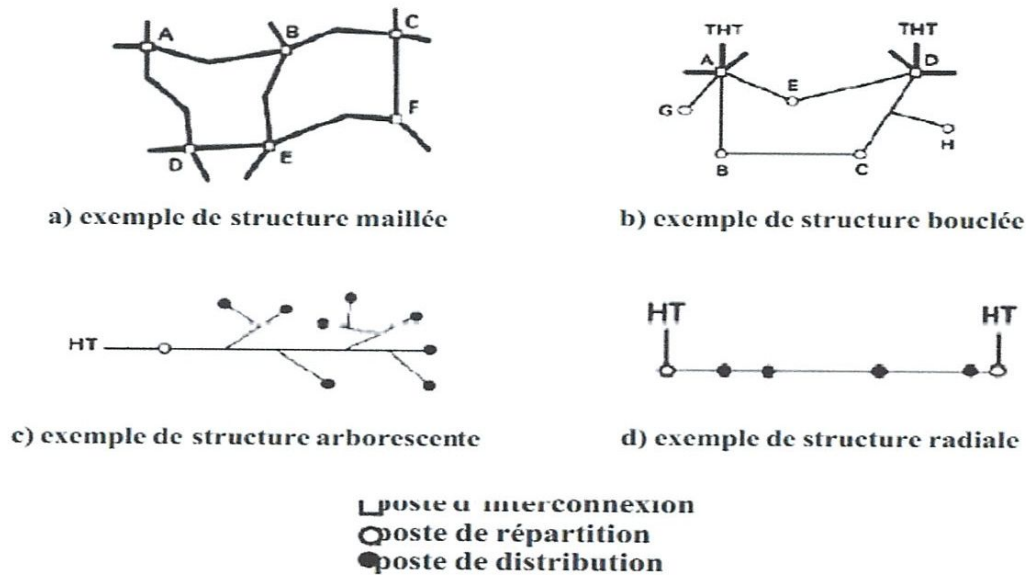


Fig. I.4: Topologie des réseaux

I-2.3. Description des réseaux électriques :

a- Le réseau de transport THT :

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (> 300 MW).

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud A, B et C (Fig. I.5) constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils. Ces réseaux sont pour la plupart aériens et souterrains dans les villes ou à leur approches. Ils sont étudiés pour un transit donné correspondant en général à la limite thermique de la ligne. Une attention particulière doit être portée à l'effet couronne qui peut donner lieu en THT, à des pertes très significatives suivant le climat et l'altitude. Les pylônes de lignes sont équipés en général de deux ternes (2 fois 3 phases) voir quatre et même six

ternes. Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir du quel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence.

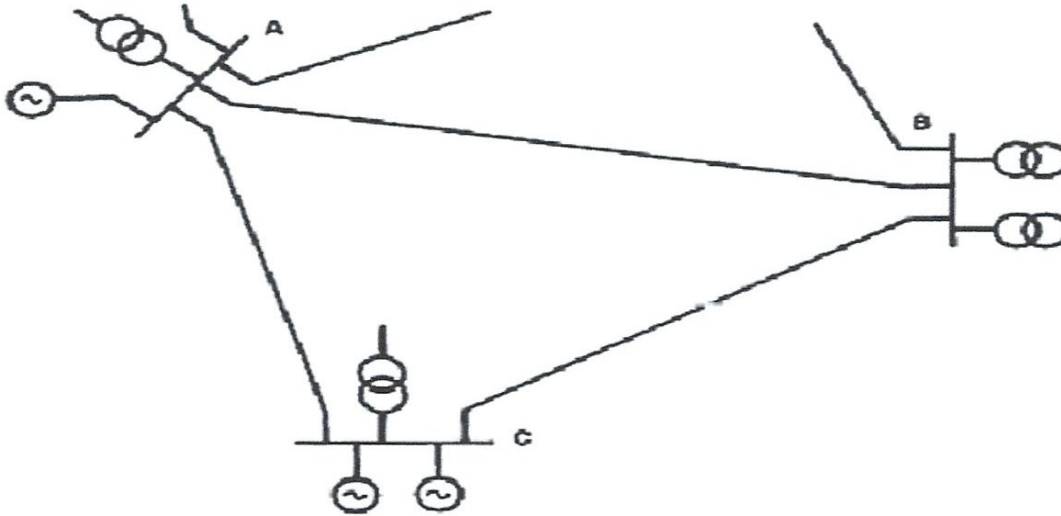


Fig. I.5 : Exemple d'un réseau de transport

b- Le réseau de répartition HT :

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT,
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire...etc.

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux.

c- Le réseau de distribution MT :

Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les

campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant de centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport. Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir; ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements.

On distingue, à travers le monde, différents systèmes de distribution MT. Citons principalement :

- Le système nord-américain (fig. I.6.a) à neutre distribué directement mis à la terre l'ossature triphasée est composée de quatre fils, et les dérivations, à distribution monophasée entre phase et neutre, comportent un ou plusieurs fils de phase, suivant la puissance à desservir, plus le neutre.
- Le système utilisé par exemple en Grande-Bretagne ou en Irlande (fig. I.6.b), qui à partir d'ossatures triphasées à trois fils sans neutre distribué alimente des dérivations qui peuvent être à deux fils de phase ;
- Le système australien (fig. I.6.c), particulièrement économique, est constitué d'ossatures à trois fils sans neutre distribué, avec, entre autres, des dérivations monophasées à un seul fil avec retour par la terre (cette solution nécessite une faible résistivité du sol) ;
- Le système français (fig. I.6.d), entièrement triphasé en ossatures et dérivations, à neutre non distribué.

On distingue par ailleurs :

- Les réseaux ruraux généralement de types aériens, arborescents et bouclables,
- Les réseaux urbains essentiellement enterrés et bouclables.

Les protections sont moins sophistiquées que dans le cas des réseaux précédents.

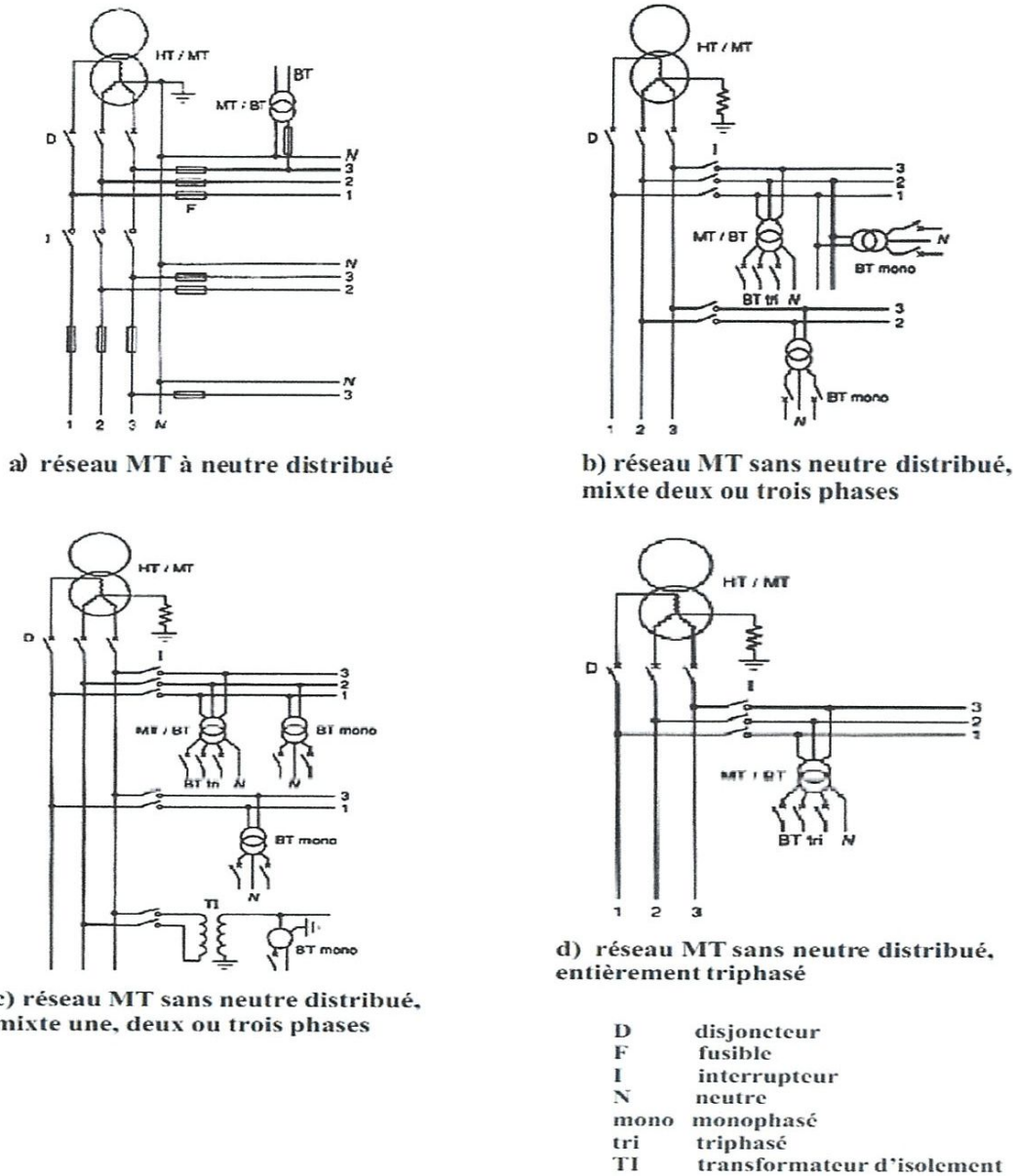


Fig. I.6 : Différents modes de distribution

❖ Régimes de neutre MT

Le choix du régime du neutre d'un réseau MT engage l'avenir, car chaque système entraîne l'installation de matériels spécifiques pour le niveau d'isolement, les conditions d'exploitation et d'entretien, les systèmes de protection contre les défauts. Le système de neutre adopté doit être cohérent avec la structure du réseau MT (niveau de tension, longueur

des départs, réseau souterrain ou aérien, densité de charge) et a une incidence sur les niveaux de sécurité et de qualité de service.

On rencontre ainsi à travers le monde des systèmes variés (Fig. I.7) :

➤ *Neutre isolé*

L'intérêt de ce système est de favoriser une bonne qualité de service. En cas de défauts entre phase et terre, il permet d'éviter des déclenchements, les courants de défauts étant limités à des valeurs très faibles (sauf lorsque les départs, surtout s'ils sont constitués de câbles souterrains, sont longs et la tension de desserte élevée, auquel cas le courant capacitif devient non négligeable). De plus, le système à neutre isolé a l'inconvénient de générer des surtensions importantes en régime transitoire (lors des manœuvres). ✓

➤ *Mise à la terre du neutre par bobine d'extinction (dite de Petersen)*

Le principe consiste à insérer dans le neutre une réactance $L\omega$ égale à la capacitance du réseau $1/C\omega$ présente un réel intérêt en dépit de son coût. Le réseau se comporte vu du défaut comme étant hautement impédant (circuit LC parallèle) et le courant de défaut est faible et auto extincteur. Il présente néanmoins les mêmes inconvénients, les surtensions transitoires au moment des manœuvres étant toutefois un peu moins élevées.

➤ *Neutre relié directement à la terre*

Cette technique engendre des courants de défauts entre phase et terre très importants. C'est pourquoi, pour des raisons de sécurité, afin de limiter le retour du courant par le sol, on installe un conducteur de neutre relié à la terre de proche en proche et par lequel circule une part notable du courant de défaut. Ce système présente l'avantage de minimiser les surtensions éventuelles. Il conduit à des déclenchements fréquents, mais permet une élimination sélective des défauts, en utilisant par exemple des fusibles adaptés en différents emplacements des départs.

Les courants de court-circuit élevés entraînent des contraintes importantes sur le matériel. Ce système nécessite une surveillance de la continuité du conducteur de neutre. Une rupture de celui-ci serait dangereuse, entraînant de forts gradients de potentiel autour des connexions de terre, liés aux courants élevés d'écoulement à la terre. La présence du conducteur de neutre permet la réalisation de dérivations monophasées.

➤ *Neutre relié à la terre par impédance*

L'intérêt de cette impédance est de limiter les valeurs des courants de court-circuit sur défauts entre phase et terre, tout en ayant des surtensions modérées. Les valeurs relativement peu élevées des courants de défauts ne nécessitent pas l'ajout d'un conducteur de neutre.

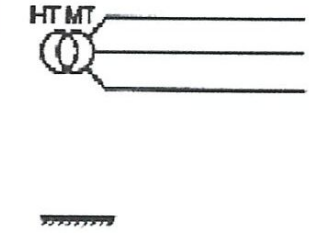
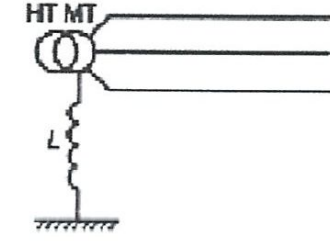
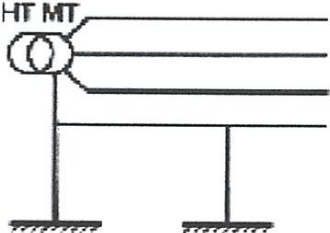
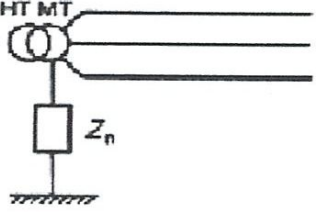
Régime de neutre MT		Pays
	Neutre isolé	Allemagne Belgique Italie Japon Norvège
	Bobine d'extinction dite de Petersen L : compensation de la capacité du réseau	Allemagne Finlande Norvège
	Neutre directement à la terre	Canada Etats-Unis
	Neutre impédant Z_n : quelques dizaines d'ohms	Belgique France Grande-Bretagne Irlande Japon Suède

Fig. I.7: Différents régimes de neutre MT utilisée dans le monde

d- Le réseau de livraison BT :

C'est le réseau qui nous est en principe familier puisqu'il s'agit de la tension 400/230V (380/220 en Algérie). Nous le rencontrons dans nos maisons via la chaîne : compteur, disjoncteur, fusibles (micro disjoncteurs).

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution MT aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BT. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique.

Ce réseau permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Sa structure, de type aérien ou souterrain, est souvent influencée par l'environnement. Ces réseaux sont le plus souvent exploités manuellement. Le réseau BT permet de distribuer au consommateur :

- le 220 V (1 phase + neutre) - 2 fils
- Ou le 380 V (3 phases + neutre) - 4 fils

Le réseau BT se caractérise essentiellement par la façon dont sont gérés le neutre et la mise à la terre des masses (appareillage domestique). On appelle conducteur de protection électrique PE, le conducteur qui interconnecte les masses et les met à la terre. Il peut être ou non confondu avec le neutre. Ces subtilités sont définies par la norme CEI 364 qui traite de la protection des personnes et des biens dans les immeubles ($U < 1000$ V).

On distingue trois systèmes :

- **IT** le neutre BT est isolé ce qui permet une continuité de fonctionnement au premier défaut. On utilise ce principe dans les hôpitaux ou certains procédés manufacturiers.
- **TT** ce système suppose une claire distinction des terres neutre et des terres des masses, distinction qui peut être difficile à réaliser.
- **TN** c'est le système le plus répandu. On distingue les régimes :TN-C où neutre et PE sont confondus (PEN) et TN-S où neutre et PE sont séparés (PE + N)

I.3. Les centrales électriques

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques,
- Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques,
- Les centrales hydroélectriques,
- Les centrales solaires ou photovoltaïques,
- Les centrales éoliennes.

Les éléments indispensables à la production de courant électrique sont :

- Une turbine en mouvement

- Un alternateur c'est-à-dire un aimant entraîné par la turbine et entouré d'une bobine qui produit le courant électrique

a- Les centrales thermiques :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel.

On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière (Fig. I.8)

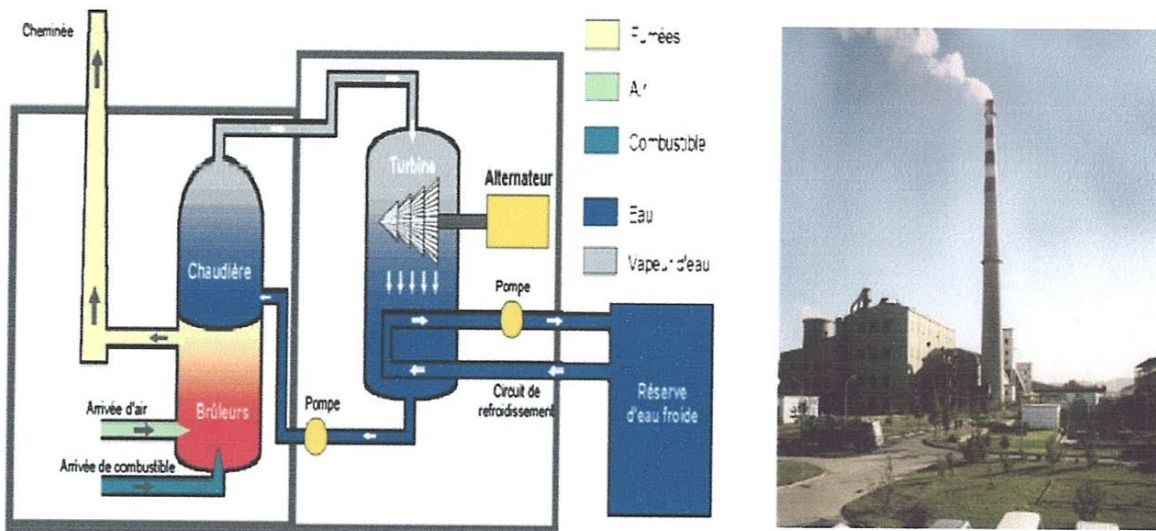


Fig. I.8 : Les centrales thermiques à flamme

b- Les centrales nucléaires :

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.(Fig. I.9)

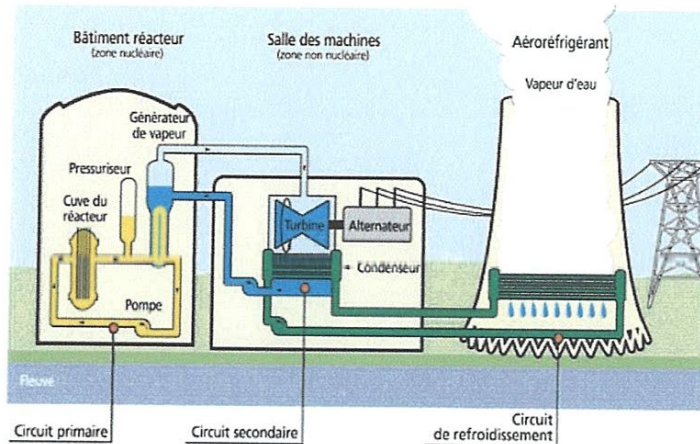


Fig. I.9. Centrale nucléaire

c- Les centrales hydroélectriques :

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (Fig. I.10)

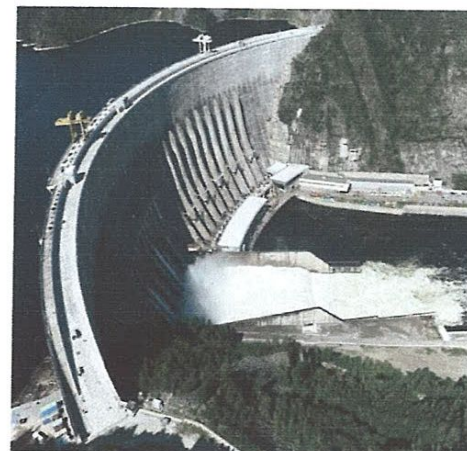
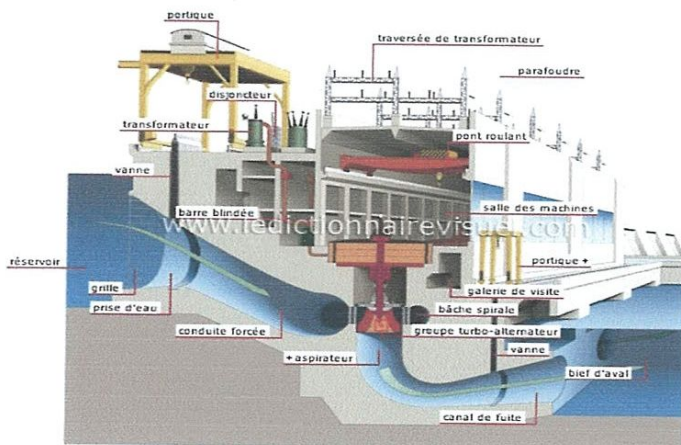


Fig. I.10. Centrale hydro-électrique

d- Les centrales solaires ou photovoltaïques :

Cet autre moyen de fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux (Fig. I.11).

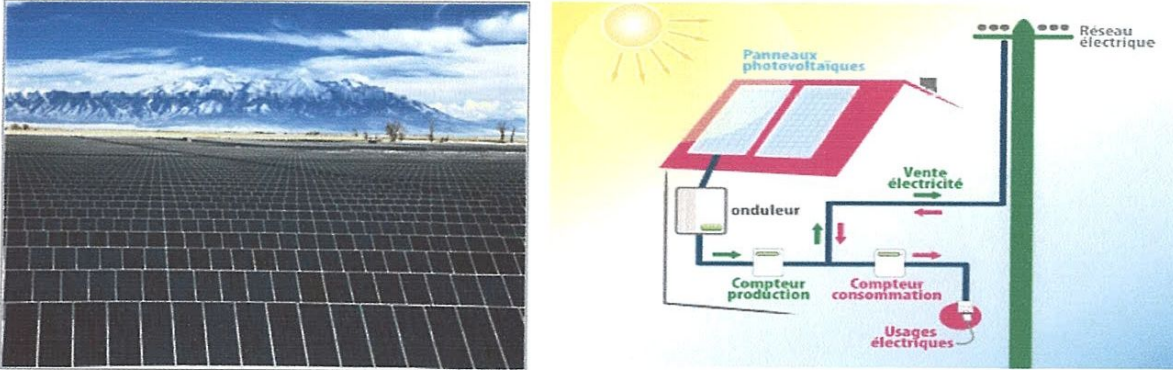


Fig. I.11.Centrale Photovoltaïque

e- Les centrales éoliennes :

L'énergie éolienne est produite sous forme d'électricité par une éolienne. Des éoliennes formées d'un mat surmonté d'un générateur électrique entraîné par une hélice, sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées (Fig. I.12).

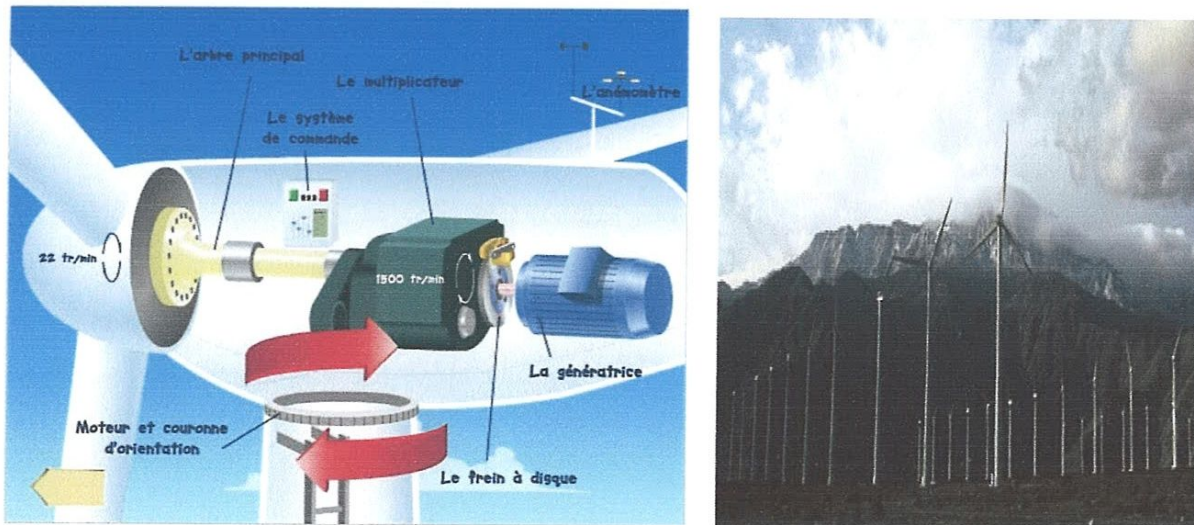


Fig. I.12.Centrale éolienne

I.4. Les postes électriques :

Selon la définition de la Commission électrotechnique internationale, un poste électrique est la «partie d'un réseau électrique, localisée en un même lieu, comprenant essentiellement les extrémités des lignes de transport ou de distribution, de l'appareillage électrique, des bâtiments, et , peut-être, des transformateurs».

Un poste électrique est par conséquent un élément du réseau électrique permettant de la fois à la transmission ainsi qu'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 (spécifiques ou industriels). Les postes électriques se trouvent par conséquent aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution. Dans les autres langues, on parle le plus souvent de sous station.

a- Différents types de postes électriques :

Il existe plusieurs types de postes électriques :

- Postes de sortie de centrale : l'objectif de ces postes est de raccorder une centrale de production de l'énergie au réseau ;
- Postes d'interconnexion : l'objectif est d'interconnecter plusieurs lignes électriques
- Postes élévateurs : l'objectif est de monter le niveau de tension, avec un transformateur
- Postes de distribution : l'objectif est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique aux clients résidentiels ou industriels.

b- Principe de fonctionnement :

Les postes électriques ont 3 fonctions principales :

- Le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur type centrale nucléaire)
- l'interconnexion entre les différentes lignes électriques (assurer la répartition de l'électricité entre les différentes lignes issues du poste)
- la transformation de l'énergie en différents niveaux de tension

Pour la transmission de l'énergie électrique, il est économiquement intéressant d'augmenter la tension, car cela limite les déperditions d'énergie par effet Joule. En effet, à puissance délivrée constante, plus la tension est élevée et plus l'intensité passant dans les câbles est faible, par conséquent moins d'échauffement, ce qui permet entre autres de diminuer la section des câbles, d'où une économie énorme. Les niveaux utilisés pour les

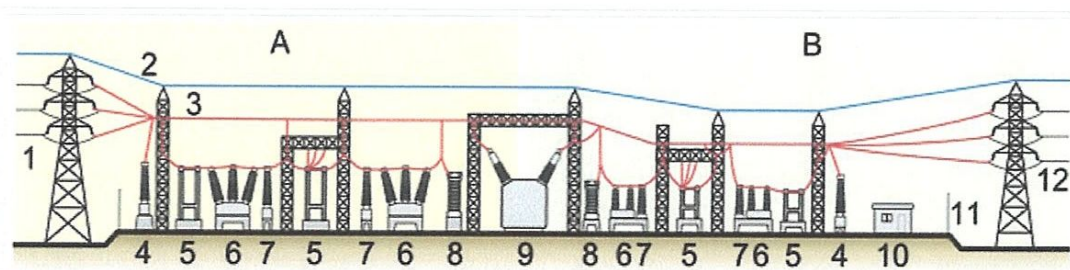
transmissions à longue distance sont le plus souvent entre 400 kV et 800 kV, qualifiés de très haute tension (appellation actuelle : haute tension B). La tension est ensuite réduite pour une consommation à un niveau de tension courant, en Europe 230 V, en Amérique 110 V.

Prenons l'exemple typique d'une centrale nucléaire. L'électricité va être produite par la centrale, puis va transiter par :

- le poste d'évacuation de la centrale (la tension va passer d'environ 20 kV à 400 kV pour être injecté sur le réseau de transport d'électricité)
- plusieurs postes d'interconnexion 400 kV (trajet de plusieurs centaines de km)
- un poste de transformation 400 / 225 kV
- un poste de transformation 225 / 63 kV ou 225 / 90 KV (après un trajet de quelques centaines de km en 225 kV)
- plusieurs postes d'interconnexion 63 kV ou 90 KV (trajet de plusieurs dizaines de km)
- le poste final d'une grosse usine raccordée en 63 kV ou 90 KV
- Certains postes de transformation permettent de transformer la tension directement de 400 KV à 63 KV ou 90 KV

Dans le cas d'un spécifique, l'électricité devra transiter par un poste source, qui est un poste de transformation 63 / 20 kV, pour être alors injectée sur le réseau de distribution. Certains postes sources sont équipés de transformateurs 225 / 20 KV et même 400 / 20 KV. Par la suite la tension est une nouvelle fois modifiée par un transformateur 20 KV / 400 V avant d'arriver chez un particulier.

c- Les différents éléments d'un poste :



Composants électriques dans un poste

(A : côté primaire B : côté secondaire)

1. Ligne électrique primaire
2. Câble de garde
3. Ligne électrique
4. Transformateur de tension
5. Sectionneur
6. Disjoncteur
7. Transformateur de courant
8. Parafoudre
9. Transformateur (de puissance)
10. Bâtiment secondaire
11. Clôture
12. Ligne électrique secondaire

Fig. I.13 : les composantes électriques dans un poste

On peut distinguer quelques fois les éléments d'un poste en "éléments primaires" (les équipements haute tension) et "éléments secondaires" (équipements basse tension)

Parmi les équipements primaires, on peut citer :

Transformateur électrique	Parafoudre
Autotransformateur électrique	Transformateur de courant
Disjoncteur à haute tension	Transformateur de tension
Sectionneur	Combiné de mesure (courant + tension)
Sectionneur de mise à la terre	jeu de barres
	Batterie de condensateurs

Parmi les éléments secondaires on peut citer :

relais de protection,	comptage d'énergie
équipements de surveillance,	alimentations auxiliaires
équipements de contrôle,	équipements de télécommunication
système de télé conduite	consignateur d'état

I.5. Les lignes électriques :

I.5.1. Lignes aériennes :

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

I.5.1.1. Différents types de lignes aériennes :

a - Lignes de distribution BT :

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

b - Lignes de distribution MT :

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

c - Lignes de transport HT :

Ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de génération.

d -Lignes de transport THT :

Ce sont les lignes qui relient les centrales éloignées aux centres d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 765 kV.

I.5.1.2.Composants des lignes aériennes :

Une ligne aérienne est composée de pylônes (supports), de câbles conducteurs et des isolateurs.

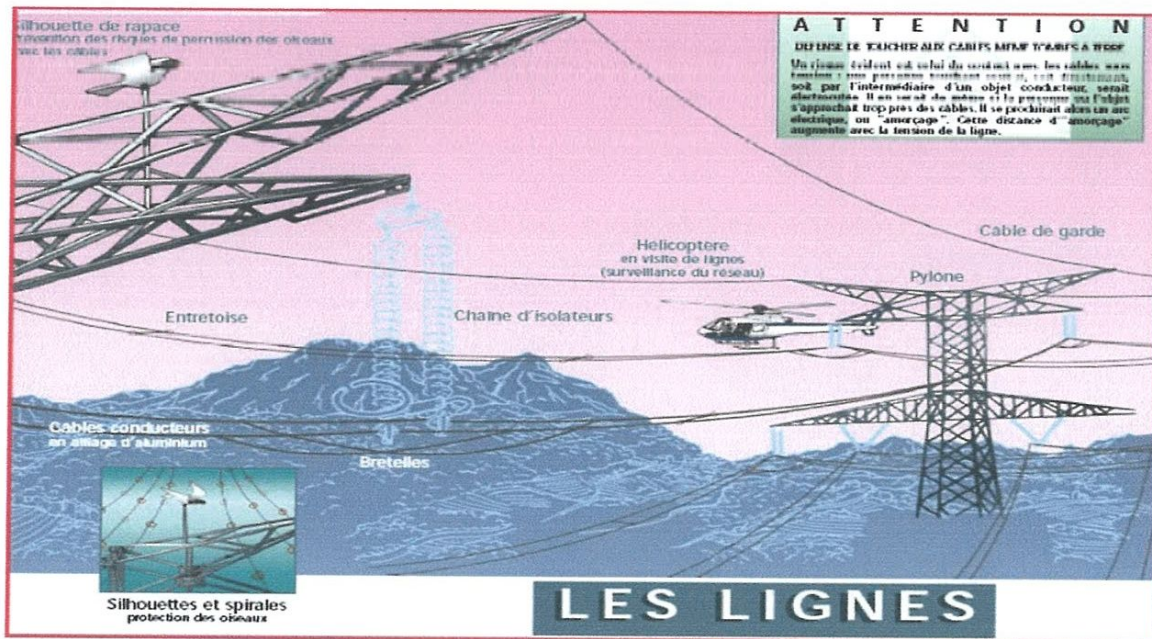


Fig. I.14 : Les lignes aériennes

a- Pylônes :

Les pylônes permettent un transport aérien d'électricité, ils sont composés en général de treillis d'acier. Leur fonction est de maintenir les conducteurs à une distance suffisamment éloignée de tout obstacle et surtout du sol. Ils permettent aussi et surtout une sécurité et un isolement par rapport à la terre. En effet, les câbles étant nus pour limiter le coût et le poids des lignes.

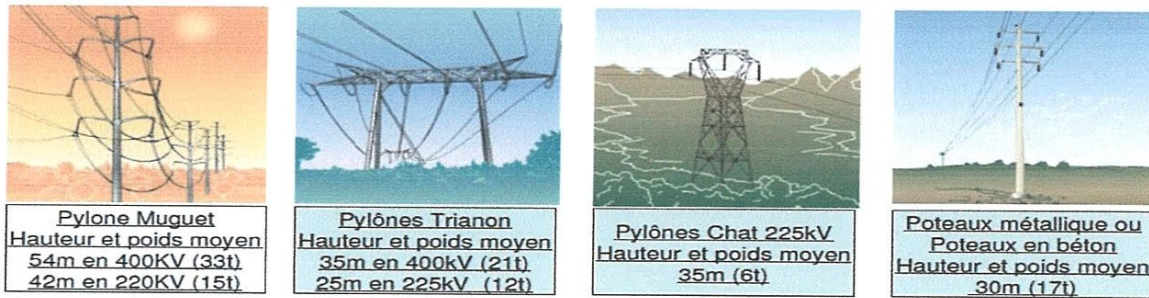


Fig. I.15 : Les différents types des pylônes

b- Les câbles conducteurs :

Pour transporter le courant, on utilise des câbles conducteurs qui sont portés par les pylônes. Le courant utilisé étant triphasé, il y a trois câbles (ou faisceaux de câbles) conducteurs par circuit. Les lignes sont soit simples (un circuit), soit doubles (deux circuits par file de pylônes). Chacune des phases peut utiliser 1, 2, 3 ou 4 câbles conducteurs, appelés faisceaux.

Les câbles conducteurs sont « nus » c'est-à-dire que leur isolation électrique est assurée par l'air. La distance des conducteurs entre eux et avec le sol garantit la bonne tenue de l'isolement. Cette distance augmente avec le niveau de tension.

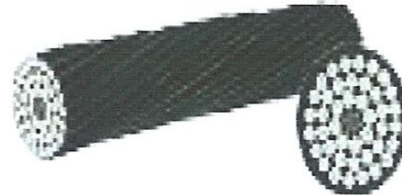


Fig. I.16 : câble conducteur

Les conducteurs en cuivre sont de moins en moins utilisés. On utilise en général des conducteurs en aluminium, ou en alliage aluminium-acier ; on trouve aussi des conducteurs composés d'une âme centrale en acier sur laquelle sont tressés des brins d'aluminium.

c- Câbles de garde :

Les câbles de garde ne conduisent 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 foudroiement des conducteurs. Ils sont en général réalisés en acier. Au centre du câble d'acier on place parfois un câble fibre optique qui sert à la communication de l'exploitant.

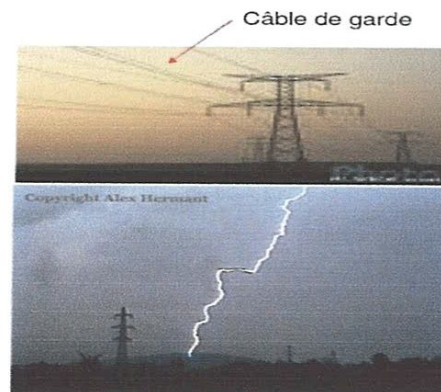


Fig. I.17 : câble de garde

d- Balises :

Permettent la localisation des lignes pour la circulation aérienne.

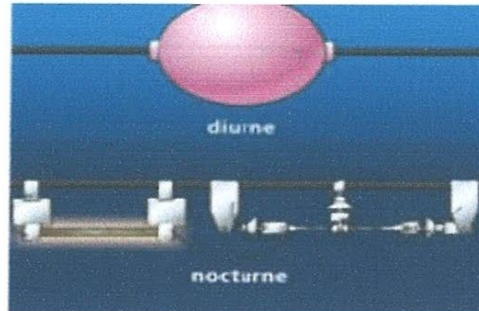


Fig. I.18 : Balise

e- Les isolateurs :

L'isolation entre les conducteurs et les pylônes est assurée par des isolateurs. Ceux-ci sont composés principalement de verre ou de céramique mais il existe aussi des isolateurs en matériaux synthétiques.

Les isolateurs en verre ou en céramique sont en général sous forme d'assiette. Leur association provoque ainsi une chaîne d'isolateur. Sur une ligne 400kV, les conducteurs sont isolés des pylônes par une chaîne d'isolateur composée par 19 assiettes. Ce qui fait à peu près 20kV par assiette.

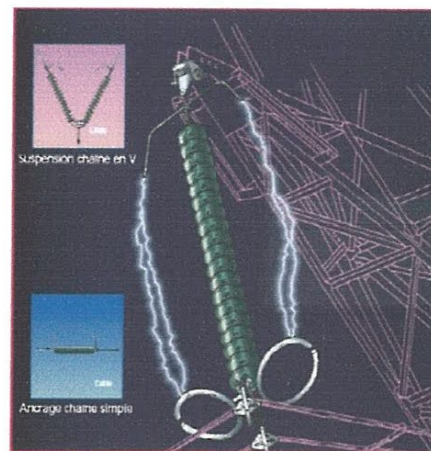


Fig. I.19 : Isolateur

f- Les Parafoudres :

Les parafoudres sont des appareils destinés à limiter les surtensions imposées aux transformateurs, instruments et machines électriques par la foudre et par les manœuvres de commutation. La partie supérieure du parafoudre est reliée à un des fils de la ligne à protéger et la partie inférieure est connectée au sol par une mise à la terre de faible résistance, généralement de moins d'un ohm.



Fig. I.20 : Parafoudre

j- Eclateurs à cornes :

L'éclateur est un dispositif simple constitué de deux électrodes, la première reliée au conducteur à protéger, la deuxième reliée à la terre. A l'endroit où il est installé dans le réseau, l'éclateur représente un point faible pour l'écoulement des surtensions à la terre et protège ainsi le matériel. La tension d'amorçage de l'éclateur est réglée en agissant sur la distance dans l'air entre les électrodes, de façon à obtenir une marge entre la tenue au choc du matériel à protéger et la tension d'amorçage au choc de l'éclateur (Fig. I.21)

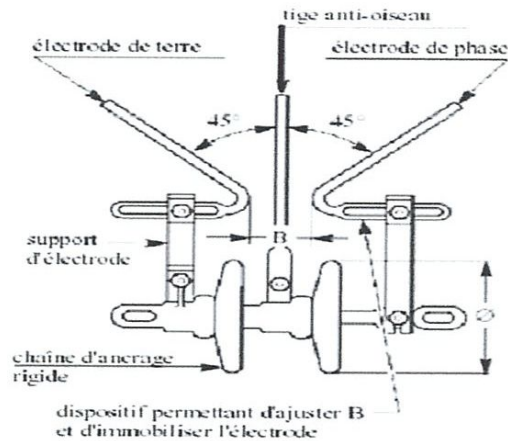


Fig. I.21 : Eclateur MT avec tige anti-oiseaux

I.5.2. Les lignes souterraines:

La structure des réseaux souterrains est un seul type de ligne : les dorsales. Ces réseaux de faible longueur et forte section des conducteurs sont le siège de chute de tension réduite. De ce fait, et tenant compte de l'importance des incidents, il sera prévu une réalimentation soit par les réseaux voisins soit par un câble de secours.

Les caractéristiques du câble conducteur : Le câble souterrain en lui-même est composé des éléments suivants :

- une âme en cuivre ou aluminium : conductrice, nécessaire au transport de l'électricité
- une isolation de haute qualité : en polyéthylène capable de résister aux contraintes électriques liées à la haute tension ;
- un écran : servant à éliminer le champ électriqu

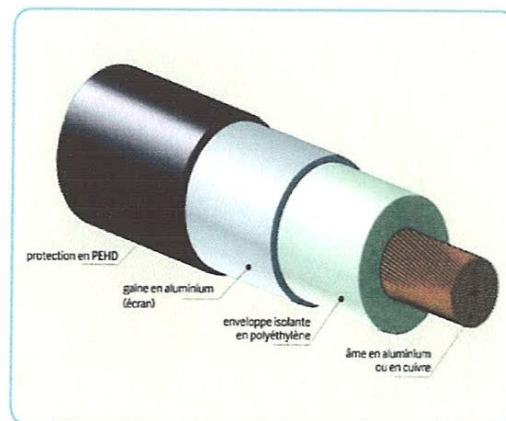


Fig. I.22 : Coupe type d'un câble souterrain

- une gaine extérieure

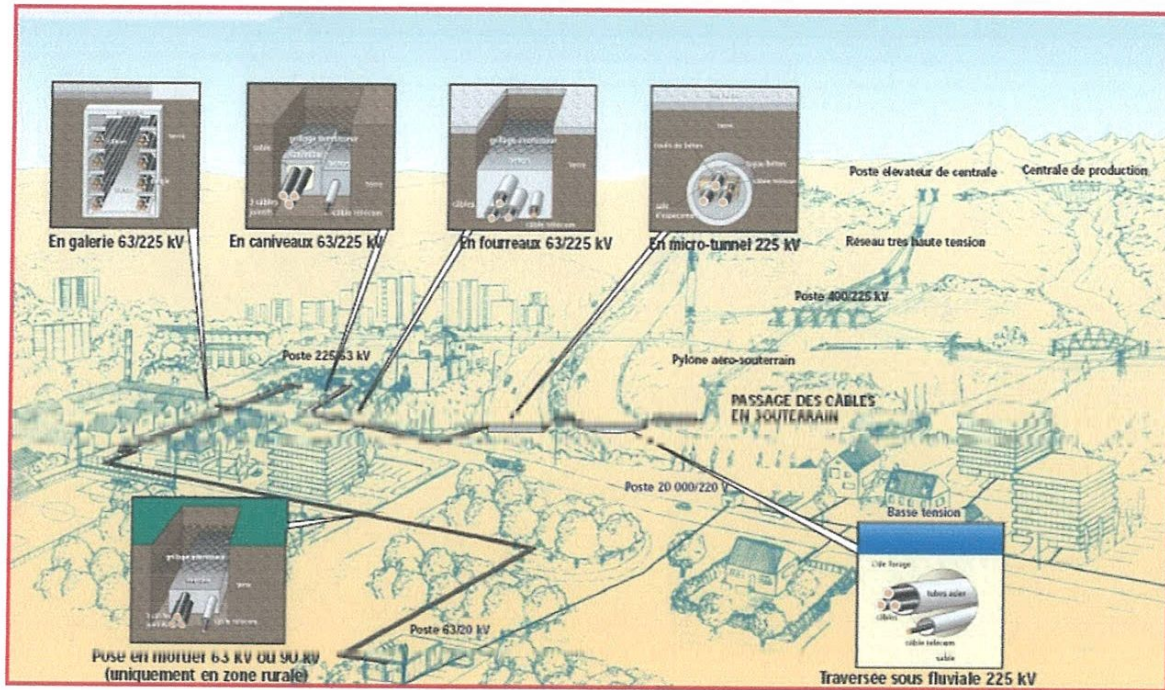


Fig. I.23 : type de Câble souterrain

I.6. Disjoncteur à haute tension :

Un disjoncteur à haute tension est conçu pour établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège), selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale. Il opère à la fois :

- Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique;
- Dans des conditions anormales spécifiées, surtout pour éliminer un court-circuit, ou les conséquences de la foudre (Voir aussi la partie spécifique).

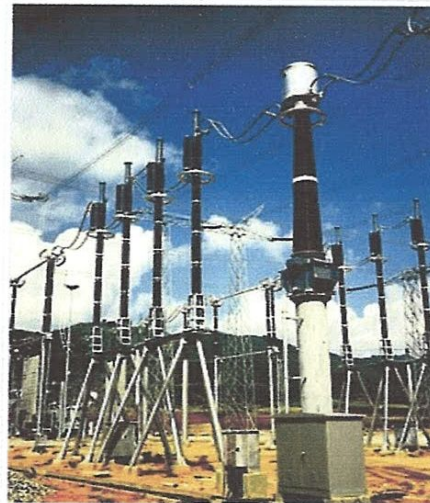


Fig. I.24 : Disjoncteur 800kv

De par ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et par

conséquent d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit.

I.7. Sectionneurs :

Ces sectionneurs sont utilisés pour connecter une ligne au reste du réseau lorsqu'ils sont fermés et à isoler une ligne du reste du réseau lorsqu'ils sont fermés.

Les sectionneurs n'ont aucun pouvoir de coupure et doivent donc être manœuvrés à vide.

I.8. Les fusibles :

Il est utilisé soit directement comme un dispositif de connecté au circuit secondaire d'un transformateur de courant, donnant un ordre de déclenchement au disjoncteur. L'inconvénient majeur de ces dispositifs réside dans le fait qu'ils sont endommagés par les défauts et qu'ils ont une faible sensibilité. L'exploitant doit disposer d'un grand nombre de fusibles de rechange pour les différents calibres. La grande variété de réseaux électriques impose des modèles de fusibles de différentes natures selon l'application.

Il s'agit :

- Des fusibles de type intérieur installés dans des tableaux HT en amont des transformateurs,
- Des fusibles de type extérieur servant de protection aux transformateurs aériens.
- Des fusibles immergés dans la cuve du transformateur.

I.9. Interrupteurs :

Pour isoler un élément de réseau MT, on dispose d'interrupteurs à commande mécanique (IACM) ; ils sont de deux types :

- Type I : Intensité nominale 200 (A), de pouvoir de coupure 31,5 ou 50 (A) de charge principalement active, et 200 (A) de charge de boucle, et de pouvoir de fermeture 10 (kA) efficace sous 24 (kV).
- Type II : Intensité nominale 400(A), de pouvoir de coupure 100 (A) de charge principalement active, et 400 (A) de charge de boucle, et de pouvoir de fermeture 10 (kA) efficace sous 24 (kV). Cet appareil peut être transformé en appareil télécommandé (IAT) ou en interrupteur automatique à ouverture dans le creux de tension (IACT).

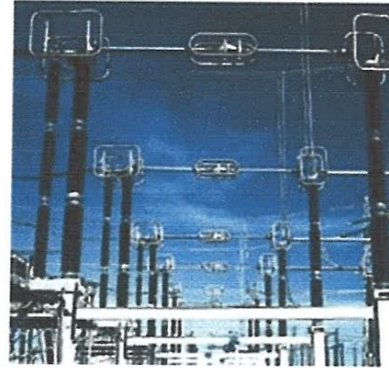


Fig. I.25 : sectionneurs

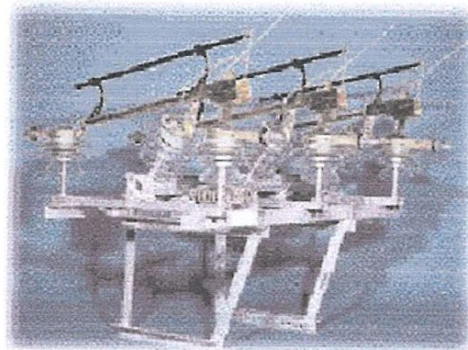
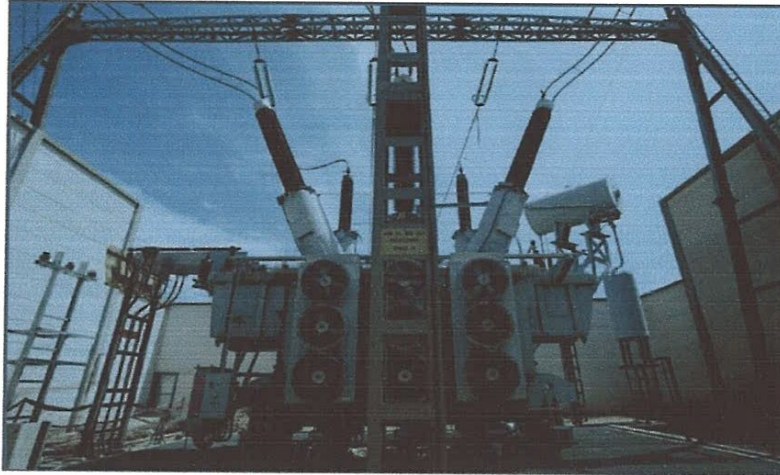


Fig. I.26 : interrupteur

I.10.Transformateur:**I.10.a. Principe de fonctionnement :****Fig. I.27 : Transformateur**

Un transformateur de puissance est constitué d'une paire d'enroulements, primaire et secondaire ou souvent appelés Haute Tension (HT) et Basse Tension, (BT) liée par un circuit magnétique.

Lorsqu'une tension alternative est appliquée à un de ces enroulements, généralement par définition au primaire, un courant générera une force magnétomotrice alternative et donc un flux alternatif dans le circuit magnétique. Ce flux alternatif en liant les enroulements induit une force électromotrice dans chaque enroulement. On obtient ici un rapport de transformation entre les tensions primaires et secondaires qui est caractéristique d'un transformateur donné. A tension fixe, si une charge est connectée au secondaire, un courant proportionnel au rapport de transformation sera soutiré au primaire.

Ainsi, on fait transiter la puissance du réseau électrique à travers le transformateur, en modifiant le rapport du courant et de la tension par induction électromagnétique au sein de bobines et d'un circuit magnétique.

I.10.b. Le circuit magnétique :

Le but d'un circuit magnétique de transformateur est de fournir un chemin de basse réluctance pour le flux magnétique qui lie les enroulements primaire et secondaire. Afin

d'optimiser le passage de cette induction avec un minimum de matière l'élément de base est la tôle de circuit magnétique en fer à grains orientés isolées carlite.

Classiquement dans un transformateur triphasé le circuit magnétique aura la forme ci dessous.

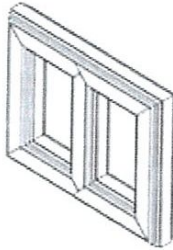


Fig. I.28 : circuit magnétique d' un transformateur

Les deux parties horizontales supérieures et inférieures sont les culasses.

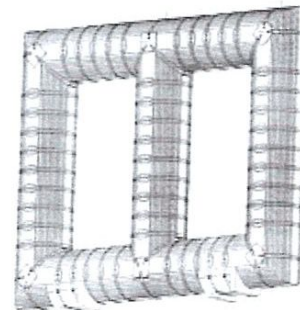
Les trois parties verticales sont les jambes du circuit magnétique.

Autour de chacune de ces jambes du circuit magnétiques se trouve une phase complète du transformateur, à savoir typiquement un enroulement basse tension, un enroulement haute tension et souvent un enroulement de réglage.

***Construction :**

Le circuit magnétique est composé de, souvent dizaines, de tonnes de tôles ne faisant que quelques dixièmes de mm d'épaisseur : de 0,28 à 0,35 mm.

C'est pourquoi il faut que tout cet assemblage qui forme le circuit final soit extrêmement bien tenu mécaniquement. Sur le schéma ci dessous on peut voir de nombreuses sangles ainsi que les calages en bois sous la culasse inférieure pour bien rigidifier l'ensemble dans le temps.



I.10.c.Les enroulements :

Les enroulements de transformateurs sont faits principalement de cuivre, et ils sont isolés généralement avec du papier. Il existe aussi des enroulements en aluminium. Le cuivre a rendu possible une grande partie de l'industrie électrique actuelle car, en plus de ces

excellentes propriétés mécaniques, le cuivre possède la plus haute conductivité des métaux commerciaux. Son importance dans les transformateurs est particulièrement significative due aux bénéfices importants sur la sauvegarde de place et de minimisation des pertes en charge par rapport à d'autres métaux.



Fig. I.29 : Les enroulements

I.10.d. Composants associés au transformateur de puissance :

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

Sur le schéma ci-dessous sont représentés:

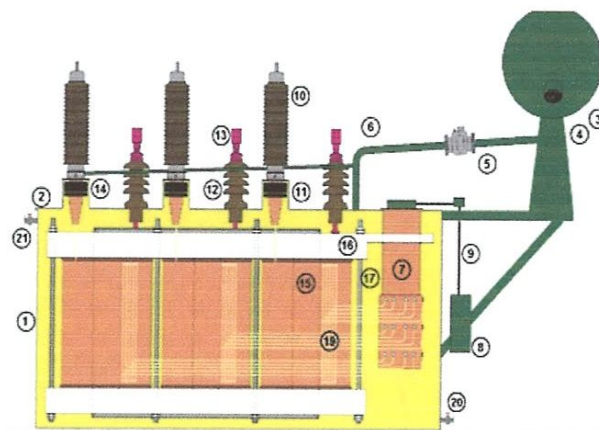


Fig. I.30 : Composants d'un transformateur de puissance

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

Chapitre 2

Les courts-circuits

Les courts-circuits sont un cas particulier des conditions anormales de fonctionnement des réseaux électriques. Les conditions anormales peuvent être dues soit à un défaut d'isolement (imperfection du matériel isolant), soit due à celle de l'exploitation (les surcharges, Non fermeture accidentel d'une phase.....etc.).

Un court- circuit présente un circuit où tous les courants se convergent vers le point de défaut, et il s'ensuit d'une augmentation des courants dans tous les éléments du réseau en dépassent plusieurs fois les valeurs admissibles. Cette augmentation est surtout ressentie par les éléments proches au point de défaut. Les effets du courant de court- circuit ne se limitent pas seulement aux réseaux et aux installations électriques mais peut constituer un danger pour l'être humain.

II-1 : Les différents types du court- circuit :

Le fonctionnement des réseaux électriques peut être caractérisé, principalement, par trois régimes : régimes normaux, régimes transitoires et régimes après avaries. Ce dernier peut être symétrique ou non symétrique :

Ceux qui sont du type **symétrique** sont :

- court- circuit triphasé entre les trois phases sans liaison à la terre.
- court- circuit triphasé entre les trois phases avec liaison à la terre.

Et ceux qui sont **asymétriques** sont :

- court- circuit biphasé entre deux phases sans liaison à la terre.
- court- circuit biphasé entre deux phases avec liaison à la terre.
- court- circuit monophasé entre une phase et la terre.

L'expérience dans l'exploitation des réseaux électriques montre que les court- circuit les plus fréquents sont de type monophasé qui représente de (60 ÷ 90%), la figure (II.1) nombre la fréquence d'apparition des différents types de court- circuit.

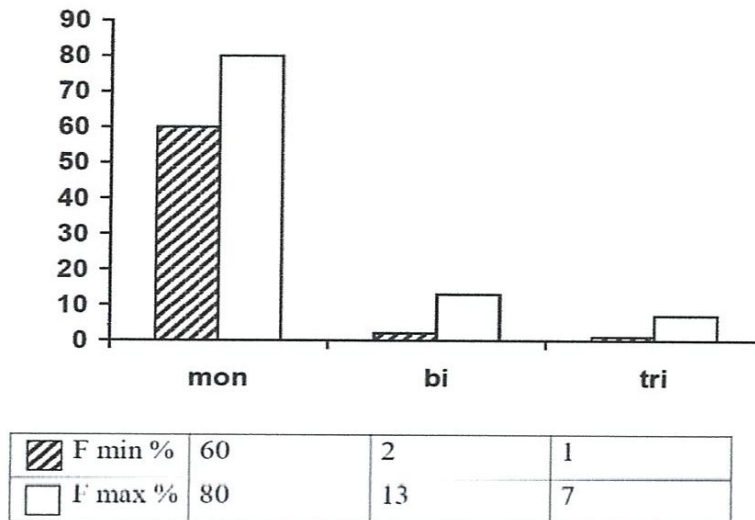


Fig. II.1 : Fréquence d'apparition des Différents types de courts- circuits

Ce type de court- circuit se comporte comme un récepteur triphasé très puissant installé au point de défaut, il entraîne tout comme une surcharge, une chute de tension et une surintensité plus ou moins équilibré. Il y a toute fois des différences qui peuvent être importantes entre une sur charge et ceux d'un court- circuit.

- 1- le court- circuit a une impédance nulle dans le cas du contact directe et métallique entre les conducteurs, ou faible dans le cas d'un arc.
- 2- Les impédances qui déterminent l'intensité du courant sont les réactances du transformateur, des génératrices et des impédances propres des lignes qui alimentent le point de court- circuit.

II-1-1 : court- circuit triphasé à la terre :

Ce défaut survient lorsque les trois phases se retrouvent accidentellement en contact avec une masse métallique reliée la terre .Cette liaison à la terre peut avoir une certaine impédance que nous modélisons par Z fig. (II.2)

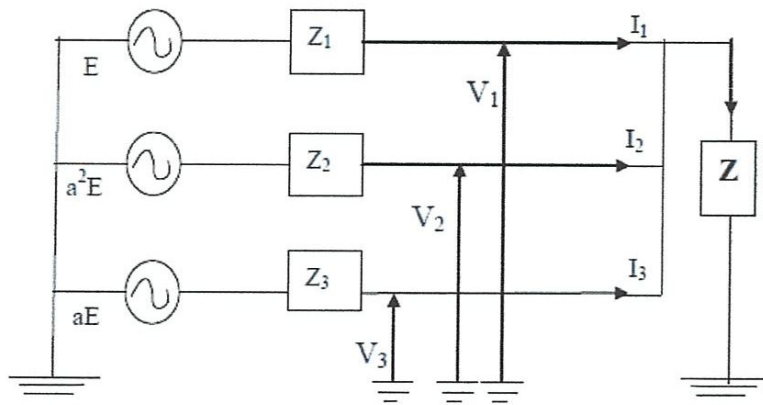


Fig. II.2 : Court-Circuit triphasé à la terre

L'analyse de court-circuit consiste à déterminer les paramètres du régime au point du défaut en utilisant les composantes symétriques.

Les équations du défaut quand $Z=0$ sont :

$$\left. \begin{aligned} V_1 = V_2 = V_3 = 0 \\ V_d = V_i = V_h = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-1)$$

Le court circuit provoque un système dissymétrique, les équations du système qui déterminent les composantes réelles en fonction de la composante symétrique seront :

$$\left. \begin{aligned} I_1 = I_h + I_i + I_d \\ I_2 = I_h + a I_i + a^2 I_d \\ I_3 = I_h + a^2 I_i + a I_d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-2)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 = V_h + V_i + V_d \\ V_2 = V_h + a V_i + a^2 V_d \\ V_3 = V_h + a^2 V_i + a V_d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-3)$$

Les équations du système en composantes symétriques :

$$\left. \begin{aligned} E &= V_d + Z_d I_d \\ 0 &= V_i + Z_i I_i \\ 0 &= V_h + Z_h I_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-4)$$

La source ne fournit pas de composantes inverse et homopolaire on aura donc.

$$\left. \begin{aligned} I_h &= I_i = 0 \\ E & \\ I_d &= \frac{E}{Z_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-5)$$

Ces différents résultats peuvent être représentés sous forme du schéma tel que celui de la Fig. II.3

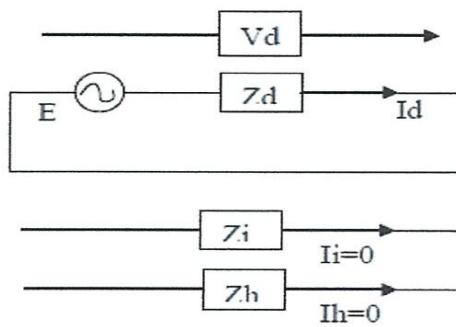


Fig. II.3 : Représentation complexe du défaut triphasé

Après avoir déterminé les composantes symétrique ; la détermination des composantes réelles seront comme suit :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E}{Z_d} \\ I_2 &= a^2 \frac{E}{Z_d} \\ I_3 &= a \frac{E}{Z_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-6)$$

$$I_{Terre} = I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (II-7)$$

On constate que le défaut est indépendant des impédances Z_h et Z_i .

II-1-2: Court circuit triphasé isolé de la terre.

Ce type de défaut est semblable au précédent. Dans ce cas, il est clair que les tensions de phases au point de court-circuit sont égales et les tensions composées sont nulles Fig. II.4.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_2 = V_3 \\ i_1 + i_2 + i_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-8)$$

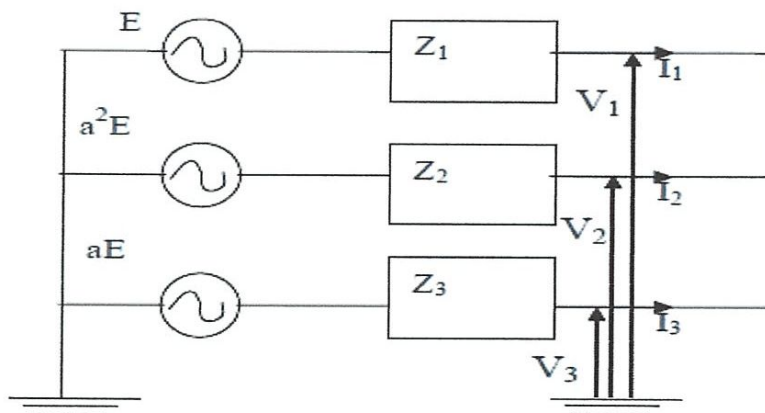


Fig. II.4 : Court-Circuit triphasé non à la terre

Composantes symétriques :

$$\left. \begin{aligned} U_d &= 0 \\ U_i &= 0 \\ U_h &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-9)$$

Donc les courts –circuits triphasés sont à l’origine de très forts courants, les chutes de tension sont considérables, elle peut chuter jusqu’à zéro au point de défaut (court –circuits franc). Ce qui provoque l’instabilité du réseau en l’absence des moyens de protection.

De ce point de vue, il est indispensable d’avoir des moyens de débranchement automatique rapide des éléments en défaut.

II-1-3 : Puissance de court –circuit :

La puissance de court –circuit est trois fois le produit de la tension simple en régime sain et le courant de court –circuit, elle est donnée comme suit :

$$S_{cc} = 3 U_{In} \cdot I_{cc} (VA) \dots\dots\dots (II-10)$$

II-1-4 : Court –circuit asymétrique.

L’importance de l’étude de ces régimes réside dans la nécessité de mieux contrôler les régimes déséquilibrés et les maintenir admissibles. Il est indispensable d’en définir et quantifier les paramètres descriptifs, ces derniers permettent de faire un choix adéquat et convenable des appareils et équipements de contrôle, de mesure, de réglage et de protection.

II-1- 4- 1: Court –circuit biphasé non à la terre.

Ce défaut survient lorsque deux phases se retrouvent accidentellement en contact, ou dans le cas d’une charge Z_c branchée entre deux phases. Ce type de court –circuit crée une asymétrie, qu’on peut immédiatement remarquer sur la Fig. (II.5).

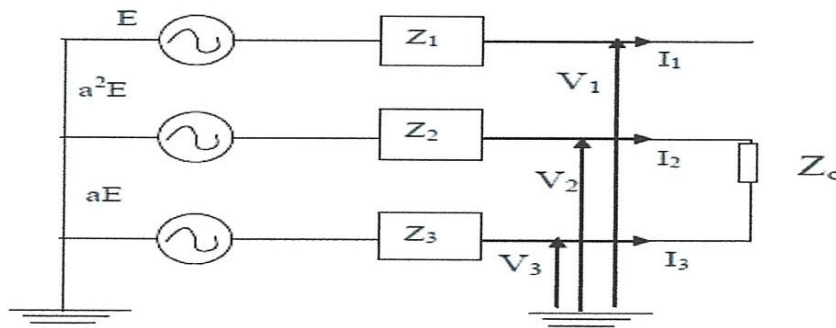


Fig. II.5 : Défaut Biphasé

Les équations de défauts sont :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0 \\ I_2 &= -I_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-11)$$

$$U_{23} = Z_c I_2 = -Z_c I_3 \quad \dots\dots\dots (II-12)$$

$$(V_2 = V_3 \text{ quand } Z_c = 0)$$

En utilisant les équations (II-2), (II-3), (II-4) nous obtenons.

$$I_h + I_i + I_d = 0 \quad \dots\dots\dots (II-13)$$

Comme

$$I_h + I_i + I_d = 0 \rightarrow I_h = 0 \quad \dots\dots\dots (II-14)$$

$$\text{On aura donc } I_d = -I_i \quad \dots\dots\dots (II-15)$$

De l'équation (II.4) on tire l'expression du courant direct et inverse :

$$I_d = \frac{E}{Z_c + Z_i + Z_d} \quad \dots\dots\dots (II-16)$$

De l'équation (II.4) on déduit l'expression de la tension directe :

$$E = V_d + Z_d I_d \quad \text{et} \quad I_d = \frac{E}{Z_c + Z_i + Z_d}$$

Alors $V_d = \frac{(Z_i + Z_c)E}{Z_c + Z_i + Z_d} \dots\dots\dots (II-17)$

Aussi pour la tension inverse :

$$0 = V_i + I_i Z_i \quad \text{et} \quad I_i = -\frac{E}{Z_c + Z_i + Z_d}$$

Alors : $V_i = \frac{E Z_i}{Z_c + Z_i + Z_d} \dots\dots\dots (II-18)$

Pour la tension homopolaire $V_h=0$.

Les différentes grandeurs complexes sont représentées sur le schéma de la fig. II-6.

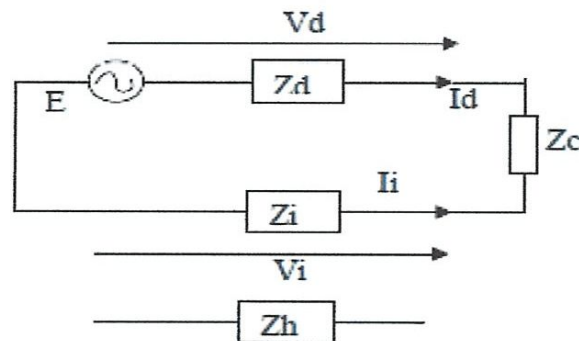


Fig. II.6 : Représentation complexe du défaut Biphase

Après avoir déterminé les composantes symétriques ; on déduit les composantes réelles.

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0 \\ I_2 &= -j \sqrt{3} \frac{E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \\ I_3 &= +j \sqrt{3} \frac{E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-19)$$

Ainsi pour les tensions.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{(Z_c + 2Z_i)E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \\ V_2 &= \frac{(a^2 Z_c + 2Z_i) E}{(Z_c + Z_i + Z_d)} \\ V_3 &= \frac{(a Z_c - Z_i) E}{Z_c + Z_i + Z_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-20)$$

II-1-4-2 : court -circuit biphasé à la terre :

Ce défaut a eu lieu lorsque deux phase se retrouvent accidentellement et simultanément en contact avec une masse métallique reliée à la terre. Cette liaison à la terre peut avoir une certaine impédance que nous appelons Z comme indiqué sur la Fig. II.7.

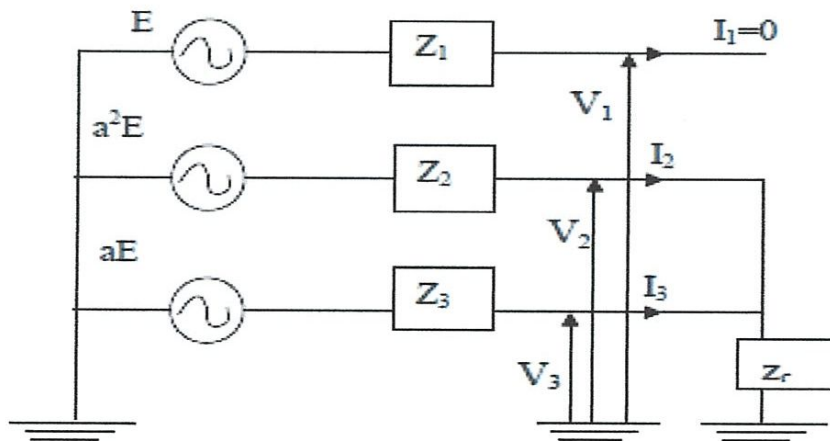


Fig. II.7 : Défaut Biphasé à la terre

Les équations de défauts sont :

$$I_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (II-21)$$

$$V_2 = V_3 = Z (I_2 + I_3) \quad \dots\dots\dots (II-22)$$

Les tensions de phase sont nulles quand : $Z=0$

$$(V_2 = 0 ; V_3 = 0)$$

en utilisant les équations (II-2) ,(II-3) et (II-4) on détermine les composantes symétrique des courant et tensions on aura :

$$I_h + I_i + I_d = 0 \quad \dots\dots\dots (II-23)$$

$$\left. \begin{aligned} I_h &= \frac{-Z_i E}{Z_i Z_d + (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)} \\ I_i &= \frac{-(Z_c + Z_h) E}{Z_i Z_d + (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)} \\ I_d &= \frac{(3 Z_c + Z_h + Z_i) E}{Z_i Z_d + (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-24)$$

Ainsi pour les tensions

$$\left. \begin{aligned} V_h &= \frac{Z_h Z_i E}{Z_d (3 Z_c + Z_h + Z_i) + Z_i (3 Z_c + Z_h)} \\ V_i &= \frac{Z_i (3 Z_c + Z_h) E}{Z_d (3 Z_c + Z_h + Z_i) + Z_i (3 Z_c + Z_h)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-25)$$

$$V_i = \frac{Z_i (3 Z_c + Z_h) E}{Z_d (3 Z_c + Z_h + Z_i) + Z_i (3 Z_c + Z_h)}$$

Ces différentes grandeurs complexes sont représentées sur le schéma de fig. II.8.

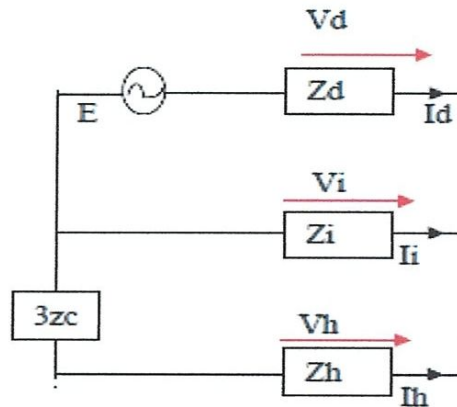


Fig. II-8 : Représentation complexe du défaut biphasé terre

Détermination des composants réelles des courants et tensions :

$$I_1 = 0$$

$$I_2 = \frac{-j \sqrt{3} (Z_c + Z_h - a Z_i) E}{Z_i Z_d + (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)}$$

$$I_2 = \frac{j \sqrt{3} (3 Z_c + Z_h - a^2 Z_i) E}{Z_i Z_d + (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)}$$

..... (II-25)

$$j 3 Z_i E$$

$$I_{Terre} = I_1 + I_2 \frac{j 3 Z_i E}{Z_i Z_d + (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)}$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{3 Z_f (2 Z_c + Z_h) E}{Z_i Z_d (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)} \\ V_2 &= \frac{- 3 Z_f (2 Z_c + Z_h) E}{Z_i Z_d (3 Z_c + Z_h) (Z_i + Z_d)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-26)$$

Si le défaut est franc (Zc=0) le courant de défaut biphasé terre sera :

$$I_{cc} = \frac{3 Z_i E}{Z_h Z_d + Z_h Z_i + Z_d Z_i} \dots\dots\dots (II-27)$$

Si le défaut est très résistif le courant de défaut sera :

$$I_2 = - I_3 = - \frac{j \sqrt{3} E}{Z_d + Z_i} \dots\dots\dots (II-28)$$

II-1-4-3: Court-circuit monophasé :

D'après les statistiques faites sur le taux d'apparition des courts-circuits, le défaut le plus fréquent est celui du type monophasé. Ce court-circuit peut être l'origine pour la naissance des défauts biphasé et triphasé. Un défaut de ce type engendre les mêmes conséquences que les autres types de court-circuit sur la phase atteinte.

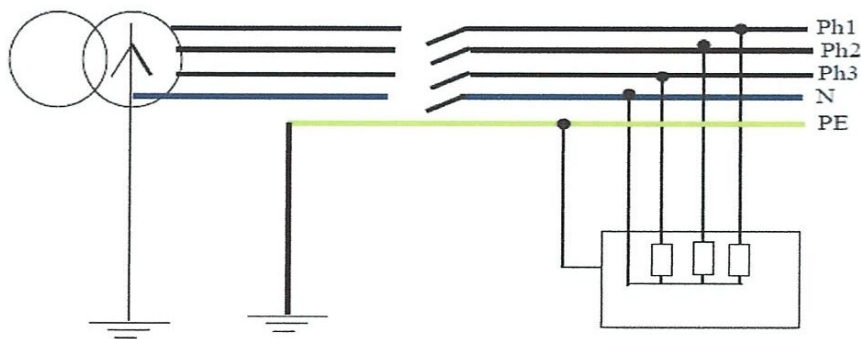
II-1-4-3-1 : Régimes du neutre :

La structure du schéma et les liaisons à la terre ont une influence directe sur les conditions de réalisation des protections, notamment la protection contre les surintensités. La notion de schéma avec les liaisons à la terre apparaît clairement dans la norme NFC15-100 qui définit les désignations symbolique par lettres. Un schéma de liaison à la terre est caractérisé par deux paramètres :

- situation du neutre par rapport à la terre.
- situation des masses métalliques par rapport à la terre.
-

a- Régime TT.

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses des installations sont aussi reliées à la terre. Cette solution simple à l'étude et à l'installation est celle qui est employée par E.D.F pour les réseaux basse tension ; aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure.

**Fig. II.9 : Régime TT**

b : Régime TN

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre.

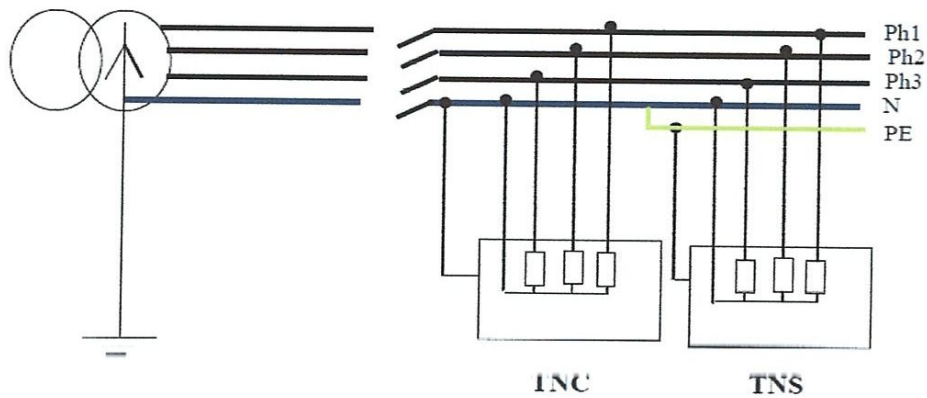


Fig. II.10 : Régime TN

Ce Régime comporte deux variations sont.

- mise au neutre TNC.

Le conducteur de protection PE et le neutre N sont confondu

- mise au neutre TNS.

Le conducteur de protection PE est séparé du conducteur neutre N

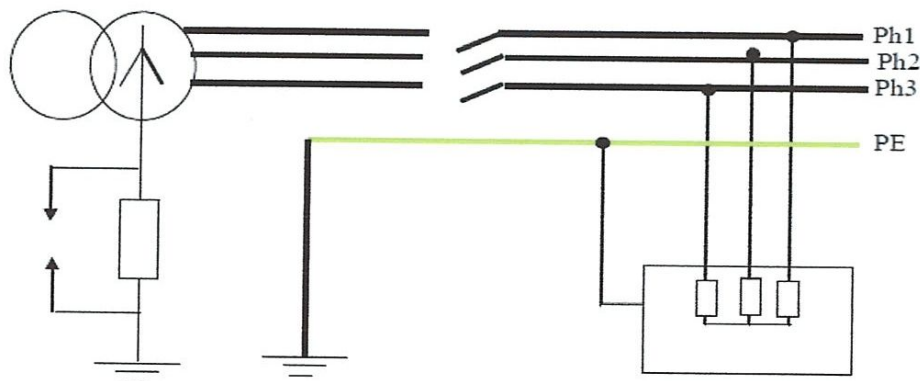


Fig. II.11 : Régime TNC et TNS

C- Régime IT

Ce régime présente le neutre isolé ou relié à la terre par une forte impédance, les masses sont reliées à la terre.

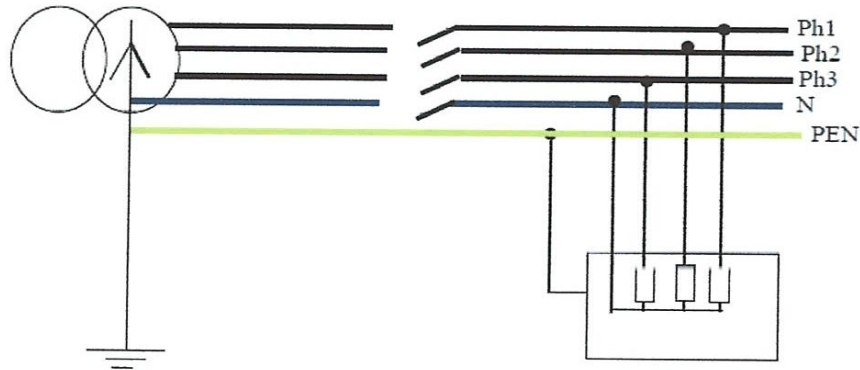


Fig. II.12 : Régime IT

Les prises de terre du neutre et du conducteur de protection peuvent être confondues.

Ce régime offre la possibilité de maintenir l'exploitation malgré l'apparition d'un défaut.

II-1-4-3-2 : Analyse d'un défaut phase – terre :

Ce défaut survient lorsqu'une phase se retrouve accidentellement en contact avec une masse métallique reliée à la terre. Cette liaison à la terre peut avoir une certaine impédance que nous modéliserons par Z comme représenté sur la Fig II-13.

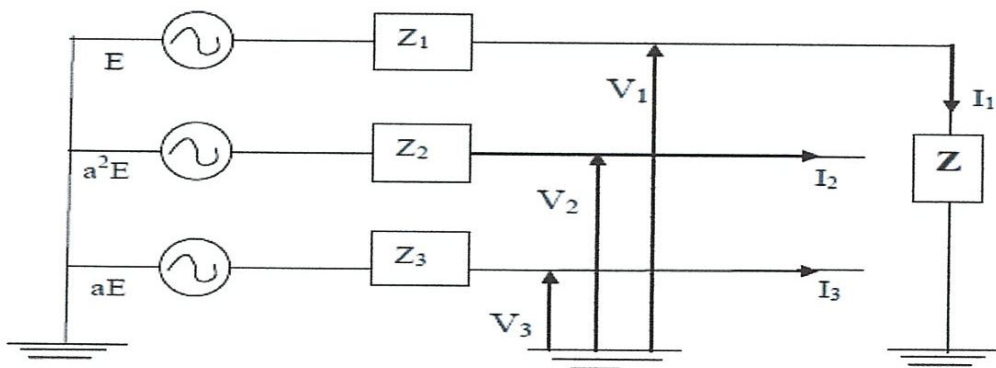


Fig. II.13 : Défaut phase-terre

Pendant le défaut on a les équations suivantes :

$$\left. \begin{aligned}
 I_1 &= \frac{V_1}{Z} \\
 I_2 &= 0 \\
 I_3 &= 0 \\
 (V_1 = 0 \text{ quand } Z = 0)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-29)$$

En tenant compte des équations du système de composantes symétriques et celles des composantes réelles (II-2),(II-3),(II-4) on détermine les composantes symétrique des courants et tensions :

$$I_2 = 0 \text{ et } I_3 = 0 \implies I_h = I_i = I_d = \frac{I_i}{3} \dots\dots\dots (II-30)$$

$$\text{De même } I_1 = \frac{E}{Z + Z_1} \text{ avec } Z_1 = \frac{Z_h + Z_i + Z_d}{3}$$

$$\text{Donc : } I_1 = \frac{3E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)} \dots\dots\dots (II-31)$$

$$\text{De la relation (II-30) on déduit } I_1 = \frac{E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)}$$

De l'équation (II-4) on tire les expressions des tensions V_i , V_h et V_d

$$\left. \begin{aligned}
 V_i &= - \frac{Z_i E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)} \\
 V_h &= - \frac{Z_h E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)} \\
 V_d &= - \frac{Z_d E}{(3Z + Z_h + Z_i + Z_d)}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-32)$$

Les résultats sont représentés sur le schéma de la fig. II-14.

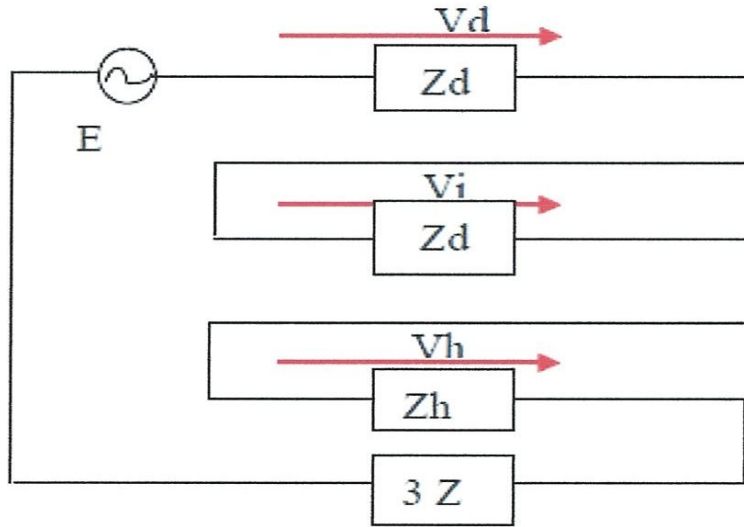


Fig. II.14 : Représentation en composantes symétriques

En fonctions de son expression on déduit les valeurs réelles des courants et tensions :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{3 E}{3 Z + Z_h + Z_i + Z_d} \\ I_2 &= I_h + a I_i + a^2 I_d = 0 \\ I_3 &= I_h + a^2 I_i + a I_d = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-33)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{3 Z E}{3 Z + Z_h + Z_i + Z_d} \\ V_2 &= \frac{a^2 E [1 - (a Z_h + a^2 Z_i + Z_d)]}{3 Z + Z_h + Z_i + Z_d} \\ V_2 &= \frac{a E [1 - (a^2 Z_h + a Z_i + Z_d)]}{3 Z + Z_h + Z_i + Z_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-34)$$

Si le défaut et franc $\Rightarrow Z=0$ on aura donc :

$$I_i = \frac{3 E}{Z_h + Z_i + Z_d} \left. \right\} \dots\dots\dots (II-35)$$

$$V_2 = 0$$

Si le défaut est résistif $\Leftrightarrow 3 Z \gg (Z_h + Z_i + Z_d)$ alors

$$I_i = \frac{E}{Z} \dots\dots\dots (II-36)$$

II-1-5 : Force électrodynamique résultante lors d'un court- circuit :

Lors d'un court- circuit, les forces s'exercent sur les parties électriques des conducteurs de la ligne ces forces provoquent des mouvements violents qui peuvent contribuer à créer d'autres court- circuits [14] fig. II-15.

La force électrodynamique exercée sur un élément du conducteur est donnée par la relation:

$$dF = i dl B \dots\dots\dots (II-37)$$

I : le courant parcouru dans l'élément de du conducteur. B : Champ d'induction provenant d'autre courant.

g1,g2 galopes engendrés lors d'un défaut entre les phases .

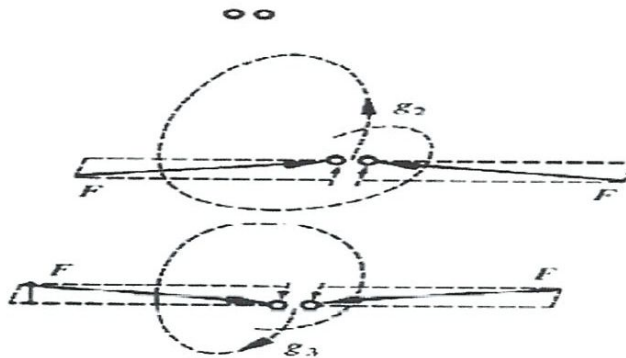


Fig. II-15 : F.E.D lors d'un court-circuit biphasé

II-1-6 : Echauffement des conducteurs :

lors d'un court- circuit, le courant de défaut devient plus élevé qui peut atteindre dizaine de fois le courant nominal, ce phénomène est accompagné d'un échauffement considérable du conducteur , l'équation déterminant ce problème :

$$\Delta \theta_3 = \Delta \theta_2 + t_2 \int_{t_2}^{t_3} \frac{\rho i^2}{\gamma c S^2} dt (k) \dots\dots\dots (II-38)$$

s :section du conducteur (m2)

ρ : résistivité (Ωm)

γ :masse volumique (kg/m3)

c :chaleur massique (g/kg k)

t3-t2 : durée du court- circuit .(s)

II-1 : Méthodes de calcul des courants de court-circuit :**II-1-1 : la méthode des impédances****II-1-1-1 : Démarche analytique**

La méthode utilisée est la méthode des impédances qui est la méthode la plus courante. Elle permet de déterminer la valeur d'un courant de court-circuit en un point quelconque en totalisant les résistances et réactances de la boucle de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et en calculant l'impédance équivalente. Les valeurs de court-circuit sont alors calculées par application de la loi d'Ohm (formule générale) :

$$I_{cc3} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \times Z_{cc}} \quad \dots\dots\dots (II-39)$$

$$I_{cc2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{cc3} \quad \dots\dots\dots (II-40)$$

U_0 : Tension entre phases au point considéré

Z_{cc} : Impédance du circuit en amont du défaut

I_{cc2} : Courant de court-circuit biphasé

I_{cc3} : Courant de court-circuit triphasé

Puisque le calcul est analytique, le défaut donnant le courant de court-circuit maximum est supposé triphasé et généralement situé en tête de départ comme il est le cas dans le guide technique de Schneider qui est plus destiné aux réseaux industriels. Quant au défaut biphasé donnant le courant de court-circuit minimum, il est situé en bout de ligne.

II-1-1-2 : Démarche numérique

Le comportement d'un réseau électrique pendant un court-circuit peut être représenté par un réseau équivalent composé d'une source de tension avant le défaut et de l'impédance du réseau Z_{ki} pour la séquence du système directe, inverse et homopolaire au nœud du défaut. Les éléments d'entrée, tels que les départs du réseau, les générateurs et les moteurs asynchrones, sont modélisés par une impédance Z_e et leur source de tension. Pendant le calcul, ils seront changés en sources de courant équivalent. Considérant la structure symétrique et l'alimentation du réseau électrique, les composants symétriques sont seulement reliés à l'endroit du défaut. L'interconnexion sera définie par les équations de défaut.

Les équations dépendent du type de défaut :

- **Défaut triphasé**

$$Ik_1'' = \frac{U_{0k}}{Zk_1} \dots\dots\dots (II-41)$$

$$Ik_2'' = 0 \dots\dots\dots (II-42)$$

$$Ik_0'' = 0 \dots\dots\dots (II-43)$$

- **Défaut biphasé**

$$Ik_1'' = \frac{U_{0k}}{Zk_1 + Zk_2} \dots\dots\dots (II-44)$$

$$Ik_2'' = -Ik_1'' \dots\dots\dots (II-45)$$

$$Ik_0'' = 0 \dots\dots\dots (II-46)$$

Avec :

U_{0k} : Tension de service ou tension avant le défaut au nœud k

Zk_i : Impédance du réseau au nœud en défaut du système directe (i=1), inverse (i=2), et homopolaire (i=0).

II-1-1-3 : Algorithme

Après la modélisation de tout, le réseau a été étudié en quatre étapes :

- calcul de la tension équivalente au point de défaut
- détermination et sommation des impédances équivalentes directe, inverse, et homopolaire amont au point de défaut
- calcul du courant de court-circuit initial, à l'aide des composantes symétriques
- détermination des autres grandeurs caractéristiques à partir du calcul de la valeur efficace du courant de court-circuit initial (Ik''),

- ip , la valeur de crête,
- ib , la valeur efficace du courant de court-circuit symétrique coupé,
- icc , la composante apériodique,
- ik , la valeur efficace du courant de court-circuit permanent.

II-1-1-3 -1 : Méthode de calcul de la tension équivalente utilisée pour les courants de court-circuit maximum

Pour les courants de court-circuit maximum, nous avons utilisé la norme IEC60909 2001. Cette norme s'applique à tous les réseaux, radiaux et maillés, jusqu'à 550 kV. Basée sur le théorème de THEVENIN, elle consiste à calculer une source de tension équivalente au point de court-circuit pour ensuite déterminer le courant en ce même point. Toutes les alimentations du réseau sont remplacées par leurs impédances (directe, inverse et homopolaire). Avec cette méthode, toutes les capacités de ligne et les admittances en parallèle des charges non tournantes, sauf celles du système homopolaire, sont négligées. La tension équivalente au point de défaut égale à: $Un/\sqrt{3}$.

Avec c , un facteur de tension dont l'introduction dans les calculs est nécessaire pour tenir compte :

- des variations de tension dans l'espace et dans le temps,
- des changements éventuels de prise des transformateurs.

II-1-1-3 -2 : Méthode de calcul de la tension équivalente pour les courants de court-circuit minimum

Pour le calcul des courants de court-circuit minimum, nous avons utilisé la méthode de superposition, avec répartition de puissance Elle prend en compte les tensions réelles, juste avant le court-circuit, lesquelles sont calculées par la méthode de Newton-Raphson Etendu (bilan de puissance).

II-1-1-4 : Algorithme de Newton-Raphson

La méthode Newton-Raphson démarre de l'équation d'erreur pour le nœud du réseau i :

$$\Delta Si = (Pi - j) - U i \cdot \sum Yik * Uk * nk = 1 \quad \dots\dots\dots (II-47)$$

Les tensions complexes Uk doivent être trouvées telles que l'erreur ΔSi devienne zéro.

Pi et Qi sont les puissances active et réactive prédéfinies.

Yik est un élément de la matrice Y de la i -ième ligne et de la k -ième colonne.

La solution de l'équation d'erreur ci-dessus consiste en trois étapes:

- Calcul de l'erreur de puissance avec l'aide des tensions de chaque nœud :

$$\Delta S_i = S_{vori} - S_{ber_i} \quad \dots\dots\dots (II-48)$$

- Calcul des variations de tension pour chaque nœud avec la matrice jacobéenne J

$$\Delta U = J^{-1} \Delta S \quad \dots\dots\dots (II-49)$$

- Calcul des tensions aux nœuds

$$U_{nouve_i} = U_{ult_i} - \alpha \Delta U_i \quad \dots\dots\dots (II-50)$$

Ces trois étapes d'itération démarrent avec $U=1.0$ pu ou une valeur prédéfinie et continuent jusqu'à ce que le critère de convergence soit atteint :

$$\epsilon = \sum |\Delta S_i| / n_i = 1 \quad \dots\dots\dots (II-51)$$

II-1-2 : La méthode des composantes symétriques

C'est un outil mathématique permettant de faire le calcul des courants de défauts asymétriques ou déséquilibré, monophasés ou biphasés dans un réseau triphasé déséquilibré. Pour le système triphasé, trois types de composantes sont introduites en tension et courant : séquence directe, inverse et homopolaire.

La séquence directe (d) : correspond à un système triphasé où les courants de phase et les tensions de phases produits par la génératrice sont équilibrés entre elles et déphasés de 120° .

La séquence directe correspond au sens de rotation positif à la fréquence du réseau, c'est-à-dire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

La séquence inverse (i) : c'est l'inverse de la séquence directe (rotation dans le sens négatif) avec un système triphasé de tension et de courants équilibrés aussi et décalés de 120° .

La séquence homopolaire (o) : Les courants et les tensions sont égales entre elles en amplitude et en phase sur toutes les phases.

Toutes les situations dans le réseau peuvent être décrites avec cet outil.

Formule :

En résumé :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I_o + I_d + I_i \\ I_2 &= I_o + a^2 I_d + a I_i \\ I_3 &= I_o + a I_d + a^2 I_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-52)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_o + V_d + V_i \\ V_2 &= V_o + a^2 V_d + a V_i \\ V_3 &= V_o + a V_d + a^2 V_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-53)$$

$$a = 1/120^\circ$$

I1, I2 et I3 (V1, V2, V3) correspondant respectivement à la phase 1, 2 et 3

Io, Ii, et Id (Vo, Vi, Vd) correspondant respectivement à la séquence homopolaire, directe, et inverse.

Dans le cas de défaut biphasé (ex phases 2 et 3), c'est un défaut asymétrique :

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0 \\ I_2 &= -I_3 = U_n / (2Z + Z_f) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-54)$$

$$\left. \begin{aligned} V_2 &= U_n - Z I_2 \\ V_3 &= U_n - Z I_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-55)$$

$$I_o = 0 \quad I_d = -I_i$$

$$V_o = 0$$

Z impédance du réseau sur les phases en défaut (phase2, phase3)

Zf : impédance du défaut

Un = tension entre phase

V2 tension monophasé sur la phase 2

V3 tension monophasé sur la phase 3

Défaut monophasé phase et terre (phase 1 et terre)

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 3V / (2Z + Z_0 + 3Z_1) \\ I_2 &= I_3 = 0 \\ I_d &= I_i = I_o \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (II-56)$$

$$V_1 = I_1 Z_1$$

V: Tension simple du réseau

Z1= impédance du défaut entre la phase 1 et la terre.

II-2- Protection contre les surintensités :**II-2-1 - Les différents types de défaut :**

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominales dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

Les défauts les plus courants sont:

- Surintensité par surcharge.
- Surtension.
- Surintensité par court-circuit.
- Baisse ou manque de tension.

II-2-1- 1- La surcharge :

Définition : Elévation de l'intensité de 1 à 10 In d'un circuit due par exemple à une surabondance des récepteurs.

Conséquences : Echauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques, des isolants

Moyens de protection : Relais thermique fusible déclencheur thermique du disjoncteur.

II-2-1- 2-Le court – circuit :

Définition : Elévation brutale de l'intensité de 10 à 1000 In dans un circuit due à une liaison accidentelle de deux points de potentiel différents (PH et N).

Conséquences : Arc électrique, échauffement important pouvant entraîner la fusion des parties actives (soudure des contact, projection de particule).

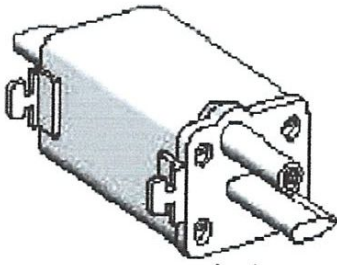
Moyens de protection : Déclencheur magnétique du disjoncteur, fusible.

II-2-2-Appareillages de protection

II-2-2- 1 : Coupe-circuit à fusibles

1.1. Rôle

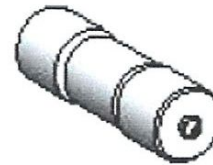
La fonction du fusible est d'assurer la protection des circuits électriques contre les courts-circuits et les surcharges par la fusion d'un élément calibré lorsque le courant qui le traverse dépasse la valeur de son calibre. La fusion est créée par un point faible dans le circuit grâce à un conducteur dont la nature, la section et le point de fusion sont prédéterminés par le conducteur. En général, le fusible est associé à un porte fusible permet d'avoir la fonction sectionneur.



Fusible à couteau

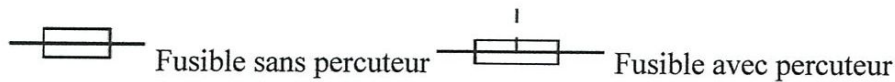


Fusible sans perceur

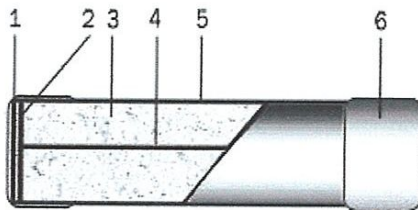


Fusible avec perceur

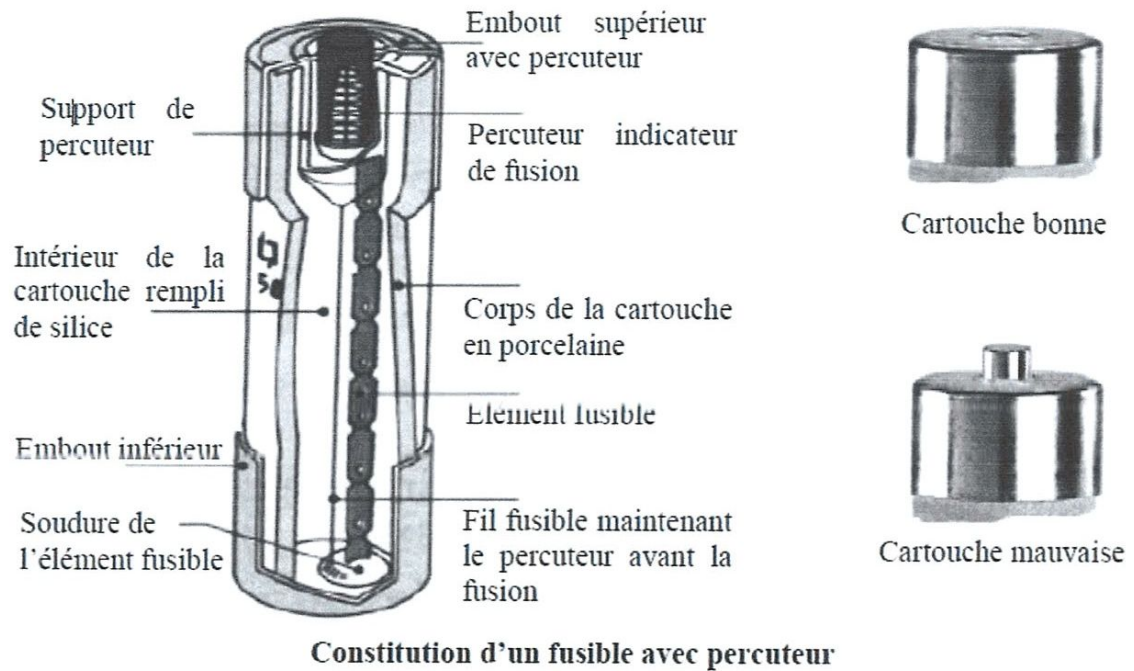
1.2. Symbole :



1.3. Constitution :



1 : Plaque de soudure ; 2 : Disque de centrage de la lame fusible ; 3 : Silice (permet une coupure franche) ; 4 : Lame fusible ; 5 : Tube isolant ; 6 : Embout de contact.



1.4. Caractéristiques principales :

1.4.1. Courant nominal ou calibre d'une cartouche fusible I_n :

C'est le calibre du fusible. Il peut donc traverser le fusible en permanence sans provoquer la fusion ni d'échauffement anormal.

1.4.2. Tension nominale d'une cartouche fusible U_n :

C'est la tension maximale pour laquelle le fusible peut être utilisé (250, 400, 500 ou 600V). Il existe des fusibles pour la haute tension.

1.4.3. Courant de fusion I_f :

C'est la valeur spécifiée du courant qui provoque la fusion de la cartouche avant la fin du temps conventionnel.

1.4.4. Courant de non fusion I_{nf} :

C'est la valeur du courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.

1.4.5. Temps de préarc, temps d'arc et temps de coupure :

Le courant croît pendant un temps T_1 , c'est le temps de préarc, au bout duquel l'élément fusible entre en fusion. Dans ce cas, il se forme un arc à l'intérieur de la cartouche qui s'éteint au bout d'un temps T_2 appelé temps d'arc.

La durée de fonctionnement totale T est égale à la somme de la durée de préarc et de la durée d'arc soit le temps T_1+T_2 .

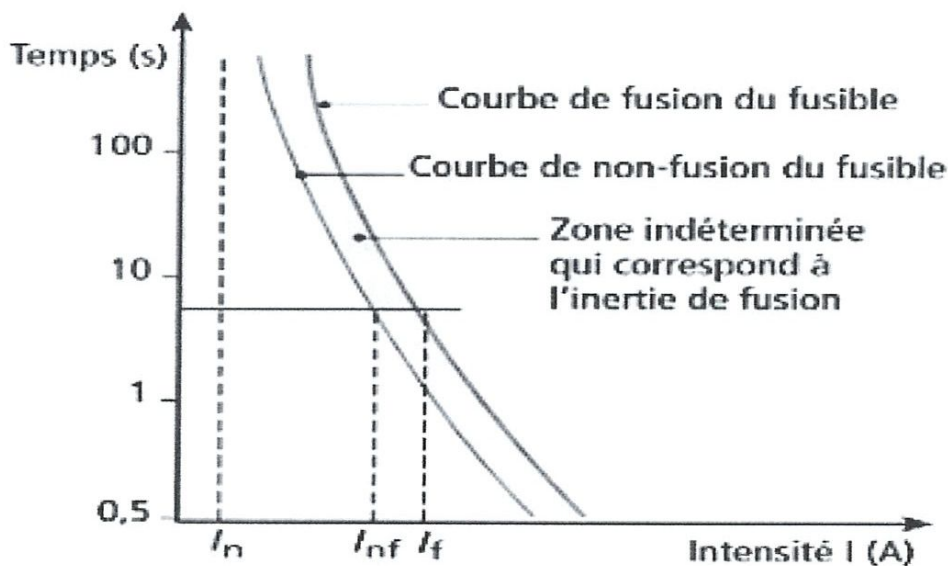
Si le courant de court-circuit est suffisamment important, la durée de fonctionnement peut être inférieure à une demi-période, sinon elle dure plusieurs périodes.

1.4.6. Pouvoir de coupure d'une cartouche fusible :

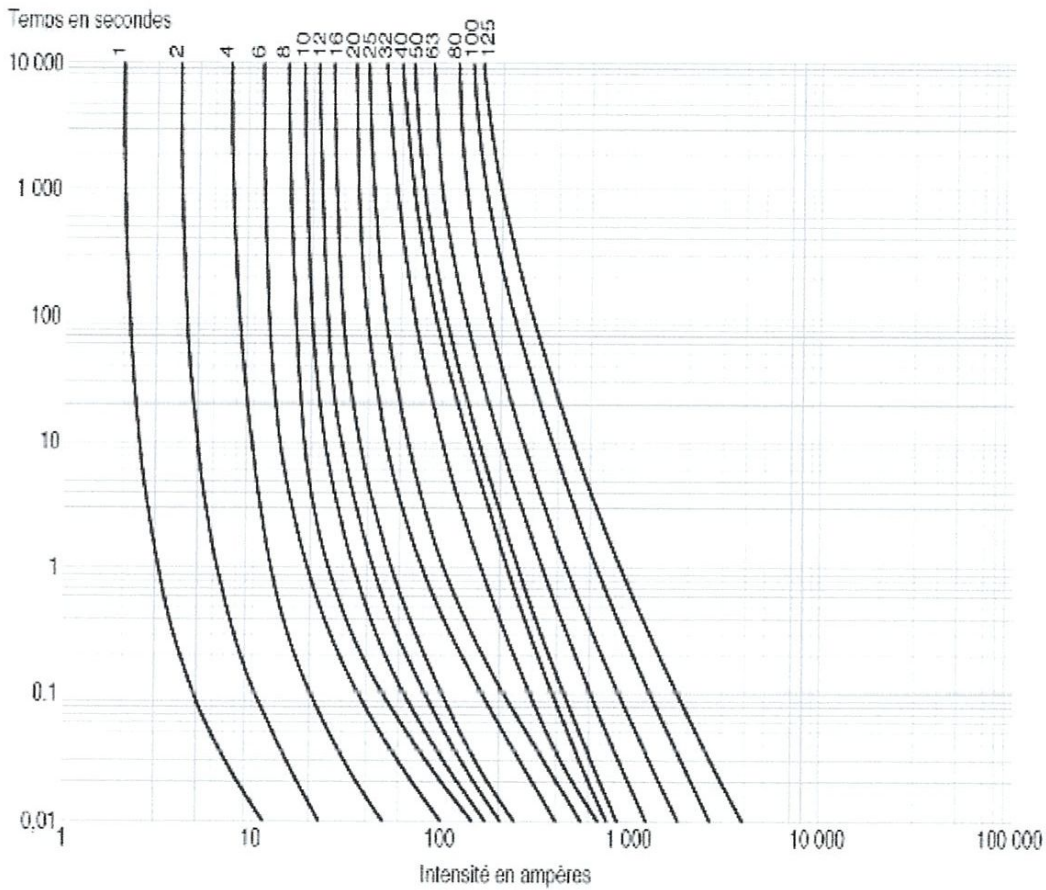
C'est le courant maximal qu'un fusible peut couper sans que la tension de rétablissement ne provoque un réamorçage de l'arc. Les fusibles possèdent de très hauts pouvoirs de coupure (de 80 à 170 kA).

1.4.7. Caractéristiques temps/courant d'une cartouche fusible :

Les caractéristiques temps/courant expriment la durée réelle du préarc (en seconde) en fonction du courant efficace (en ampère) indiqué en multiple de l'intensité nominale.



Courbe de fusion :



Courbes de fusion des fusibles cylindriques de classe gG.

1.5.Choix d'un fusible :

Pour choisir un fusible, il faut connaître les caractéristiques du circuit à protéger:

- circuit de distribution, fusibles gG;
- circuit d'utilisation moteur, fusible aM

II-2-2- 2 : Relais thermique :

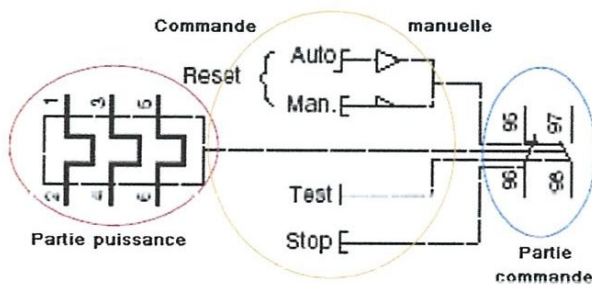
1. Rôle :

Le relais thermique est un appareil qui protège le récepteur placé en aval contre les surcharges et les coupures de phase. Pour cela, il surveille en permanence le courant dans le récepteur.



En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur est le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

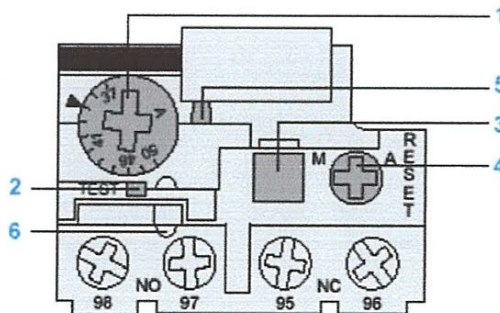
2.Symbole :



3.Constitution :

2. Bouton Test
L'action sur le bouton Test permet :
- le contrôle du câblage du circuit de commande
- la simulation du déclenchement du relais (action sur les 2 contacts "O" et "F").

6. Verrouillage par plombage du capot



1. Bouton de réglage I_r

5. Visualisation du déclenchement

3. Bouton Stop. Il agit sur le contact "O" et est sans effet sur le contact "F"

4. Bouton de réarmement et sélecteur de choix entre réarmement manuel et automatique

4.Principe de fonctionnement :

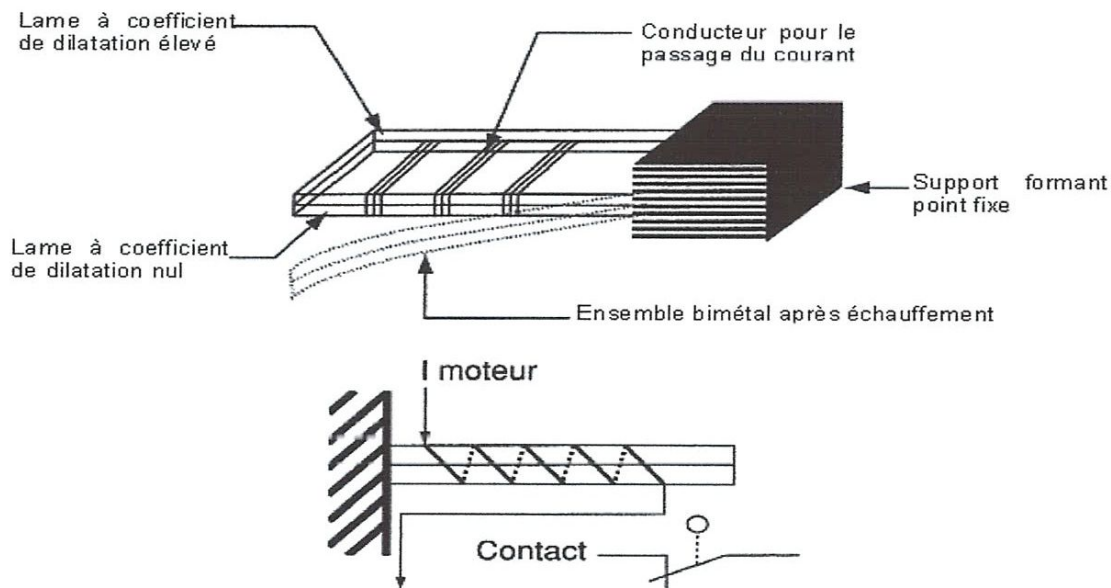
Le relais thermique utilise un bilame formé de deux lames minces de métaux ayant des coefficients de dilatation différents.

Le bilame s'incurve lorsque sa température augmente. Pour ce bilame, on utilise un alliage de Ferronickel et de l'Invar (un alliage de Fer(64%) et de Nickel(36%) avec un peu de Carbone et de Chrome).

Si le moteur est en surcharge, l'intensité I qui traverse le relais thermique augmente, ce qui a pour effet de déformer davantage les trois bilames.

Un système mécanique, lié aux bilames, assure l'ouverture d'un contact auxiliaire (NC 95-96).

Le relais thermique est souvent compensé en température et différentiel.



Le relais thermique est généralement: différentiel, et / ou compensé.

5. Principe du dispositif différentiel:

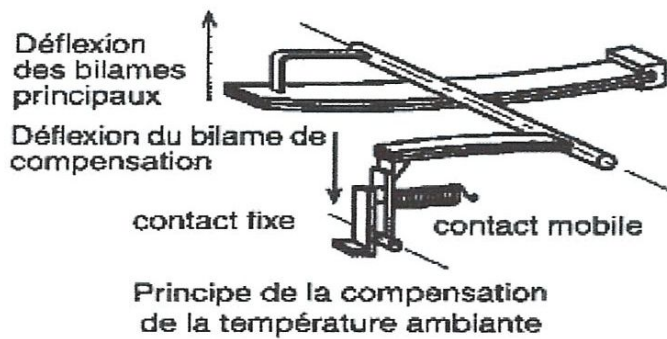
En cas de coupure de phase ou de déséquilibre sur les trois phases d'alimentation d'un moteur,

le dispositif dit différentiel agit sur le système de déclenchement du relais thermique.

6. Principe de la compensation en température:

Afin d'éviter un déclenchement intempestif dû aux variations de la température ambiante, un bilame de compensation est monté sur le système principal du déclenchement.

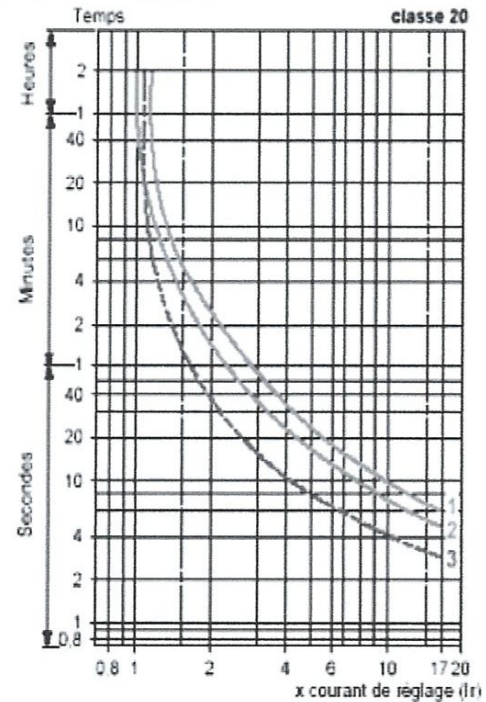
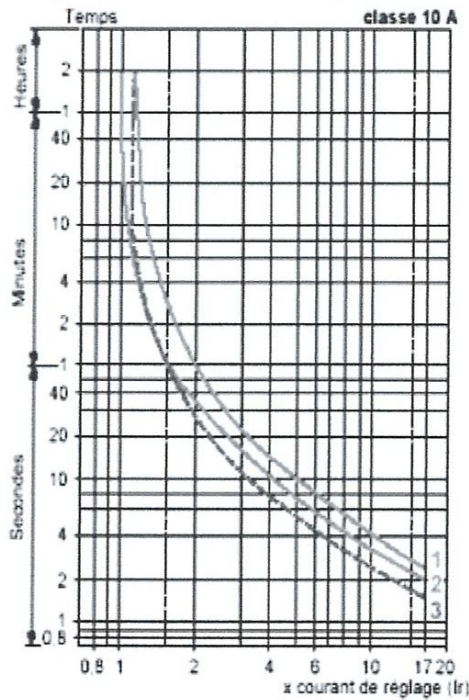
Ce bilame de compensation se déforme dans le sens opposé à celui des bilames principaux.



7. Courbe de déclenchement :

C'est la courbe qui représente le temps de déclenchement du relais thermique en fonction des multiples de l'intensité de réglage

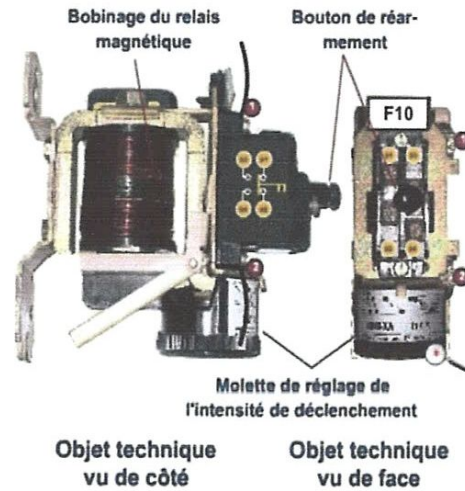
Temps de fonctionnement moyen en fonction des multiples du courant de réglage.



- 1 Fonctionnement équilibré, 3 phases, sans passage préalable du courant (à froid).
- 2 Fonctionnement sur les 2 phases, sans passage préalable du courant (à froid).
- 3 Fonctionnement équilibré 3 phases, après passage prolongé du courant de réglage (à chaud).

II-2-2- 3 :Relais magnétique (électromagnétique) :

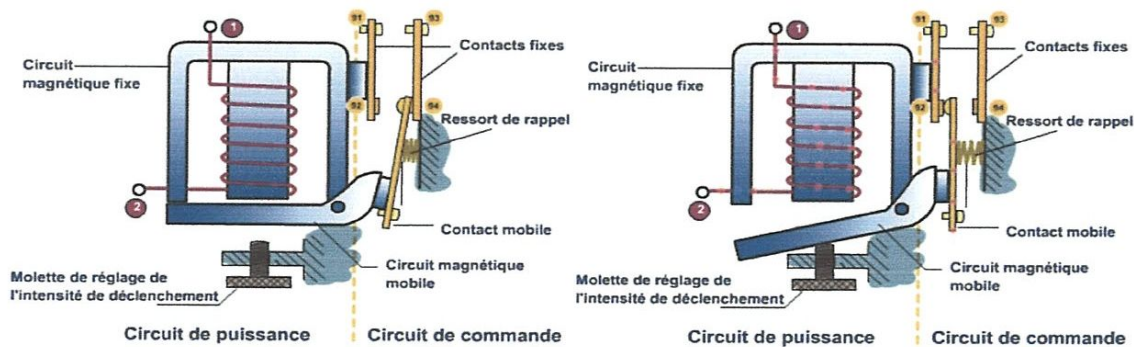
1.Rôle : Le relais magnétique, encore appelé relais de protection à maximum de courant, est un relais unipolaire (un pour chaque phase d'alimentation) dont le rôle est de détecter l'apparition d'un court-circuit. Il s'ensuit qu'il n'a pas de pouvoir de coupure et que ce sont ses contacts à ouverture (91-92) et à fermeture (93-94) qui vont être utilisés dans le circuit de commande pour assurer l'ouverture du circuit de puissance du récepteur et signaler le défaut.



Ce relais est recommandé pour la protection des circuits sans pointe de courant (ex. charges résistives) ou au contrôle des pointes de démarrage des moteurs asynchrones à bagues.

2.Principe de fonctionnement :

En fonctionnement normal, le bobinage du relais magnétique est parcouru par le courant du court-circuit. En cas de forte surcharge ou de court-circuit, la force engendrée par le champ magnétique de la bobine devient supérieure à la force du rappel du ressort et le relais magnétique déclenche. La raideur du ressort permet de régler pour quelle valeur du courant se produira la coupure. Le déclenchement est instantané avec un temps de réponse de l'ordre de



milliseconde.

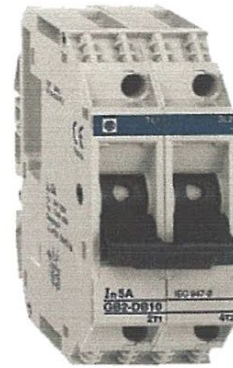
3.Symbolique :



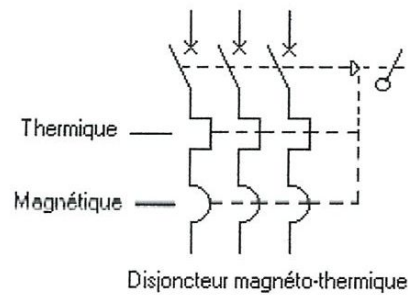
II-2-2- 4 Disjoncteurs :

1.Rôle :

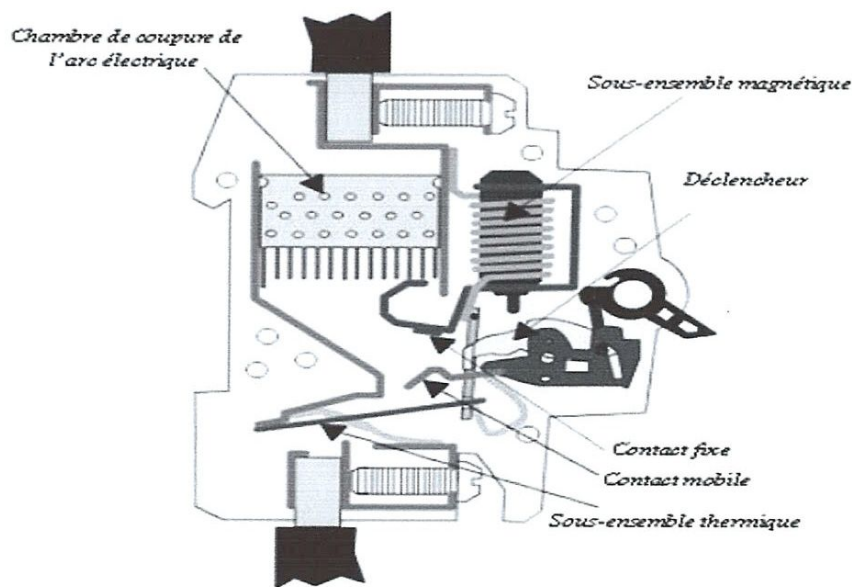
Un disjoncteur est un organe électromécanique, de protection, dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est réarmable



2.Symbolle :



3.Constitution :



4. Différentes techniques utilisées par les disjoncteurs :

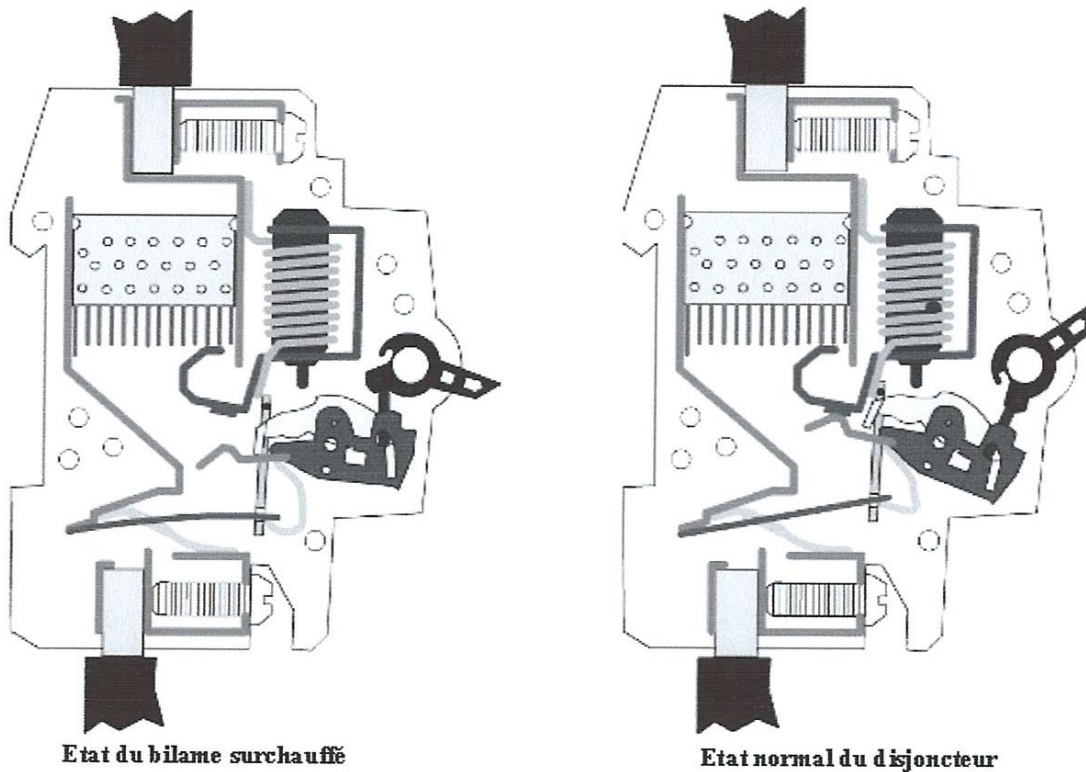
4.1. Thermique :

Le courant traverse le disjoncteur où des spires de fil chauffent par effet Joule un bilame, si l'échauffement devient suffisamment important, le bilame se déclenche interrompant ainsi le courant.

- Ce système électromécanique est assez simple et robuste.
- Par contre, il n'est pas très précis et son temps de réaction est relativement lent.

C'est l'une des fonctions classiquement remplie par un fusible gG (anciennement gI-usage général).

La protection thermique a pour principale fonction la protection des conducteurs contre les échauffements dus aux surcharges prolongées de l'installation.



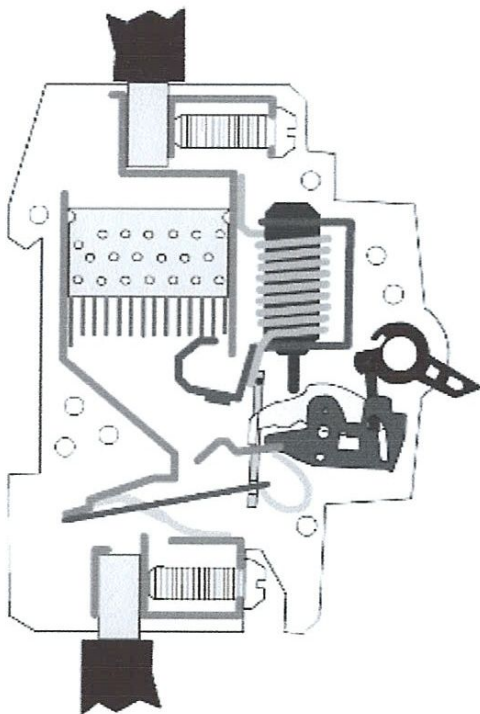
4.2.Magnétique :

Un bobinage détecte le champ électromagnétique généré par le courant traversant le disjoncteur, lorsqu'il détecte une pointe de courant supérieur à la consigne, l'interruption est "instantanée" dans le cas d'une bobine rapide ou "contrôlée" par un fluide dans la bobine qui permet des déclenchements retardés. Il est généralement associé à un interrupteur de très haute qualité qui autorise des milliers de manœuvres.

- Ce fonctionnement peut remplacer le fusible sur les courts-circuits;
- Suivant le type de disjoncteur, la valeur d'intensité de consigne va de 3 à 15 fois l'intensité nominale (pour les modèles courants);
- Nombreuses courbes de déclenchement pour CC, CA50/60 Hz et 400 Hz

C'est la fonction remplie par un fusible aM (protection des moteurs). La protection magnétique a pour principale fonction la protection des équipements contre les défauts (surcharge de l'équipement, court-circuit, panne, ...).

Il est choisi par l'ingénieur qui a le souci de protéger son équipement avec très grande précision.



Etat d'un cas de court-circuit

4.3. Différentielle :

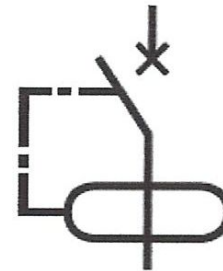
Un disjoncteur différentiel est un interrupteur différentiel réalisant également une protection en courant de court-circuit (surcharge).

Le principe d'un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est de comparer les intensités sur les différents conducteurs qui le traversent. Par exemple, en monophasé, il compare l'intensité circulant dans le conducteur de phase, et celle du conducteur de neutre. C'est un appareil de protection des personnes et de détection des courants de fuite à la terre de l'installation électrique.

Le dispositif différentiel est basé sur le principe suivant: dans une installation normale, le courant électrique qui arrive par un conducteur doit ressortir par un autre. Dans une installation monophasée, si le courant dans le conducteur de phase au départ d'un circuit électrique est différent de celui du conducteur neutre, c'est qu'il y a une fuite.

La différence d'intensité du courant à laquelle réagit un disjoncteur est appelée la "sensibilité différentielle du disjoncteur" (obligatoirement 30 mA sur les circuits terminaux domestiques), notée $I_{\Delta n}$ ("i delta n").

Son fonctionnement est très simple : chaque conducteur passe dans un Tore magnétique, formant ainsi des champs électromagnétiques de force identique et en opposition qui s'annulent. En cas de différence, d'où son nom de différentiel, le champ électromagnétique résultant actionne un dispositif qui coupe immédiatement le courant.

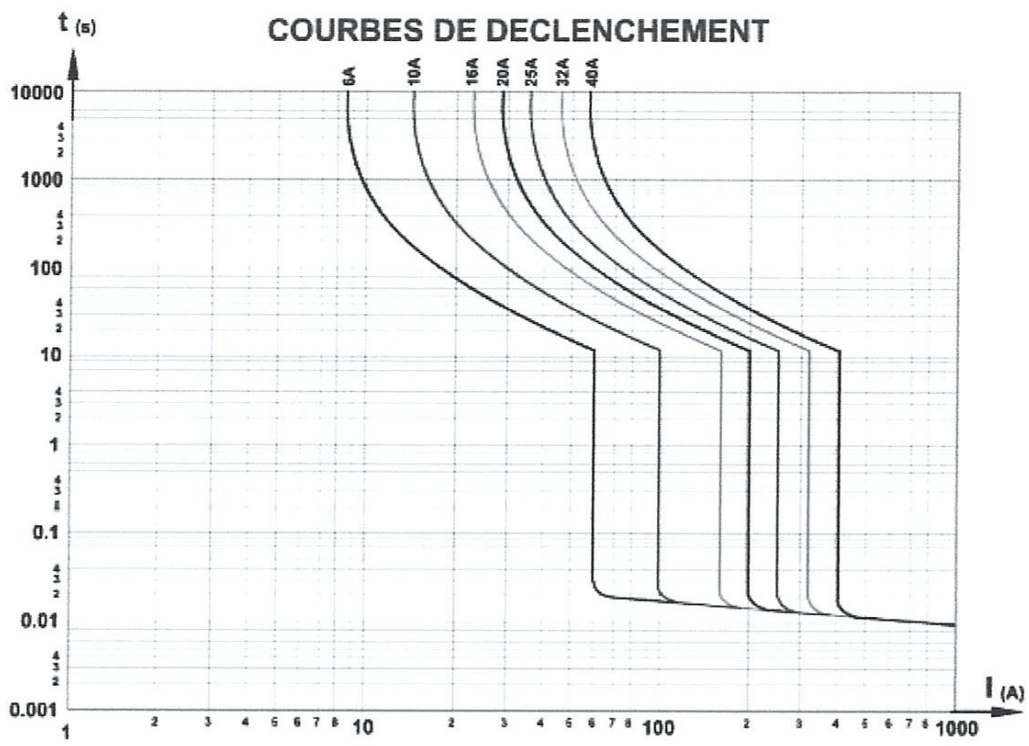


On doit avoir donc :

• **Monophasé :** $I_{ph} + I_N = 0$

• **Triphasé sans neutre :** $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

• **Triphasé avec neutre :** $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = 0$



Chapitre 3

Calcul des courts-circuits

On réalise les calculs des courants de court - circuit pour le choix de l'équipement électrique et la vérification de leurs paramètres, pour la précision du réglage de déclenchement de la protection par relais. Le but essentiel du calcul est la détermination de la composante périodique de courant de court - circuit pour le régime le plus grave du réseau électrique. La composante apériodique est déterminée approximativement en tenant compte qu'elle possède la valeur maximale dans la phase à considérer.

Le calcul des courants de court - circuit est très compliqué, si l'on tient compte des caractéristiques réelles et des régimes réels de tous les éléments du système énergétique.

C'est pourquoi, pendant les calculs pratiques on utilise les admissions suivantes

- Pendant le régime de court - circuit les angles de déphasages des forces électromotrices de tous les alternateurs ne changent pas;
- On ne tient pas compte de la saturation des éléments magnétiques, c'est - à dire on considère les réactances du circuit électrique en question comme les valeurs indépendantes du courant de court - circuit;
- On ne tient pas compte des susceptances des éléments du réseau court -circuité
- On considère le circuit électrique triphasé comme un système symétrique.
- On néglige les résistances du circuit à considérer, si l'on a la relation

$X_{\Sigma}/r_{\Sigma} \ll 3$, mais en même temps on en tient compte pour la détermination de la composante apériodique et la constante du temps d'amortissement de la composante apériodique du courant de court - circuit.

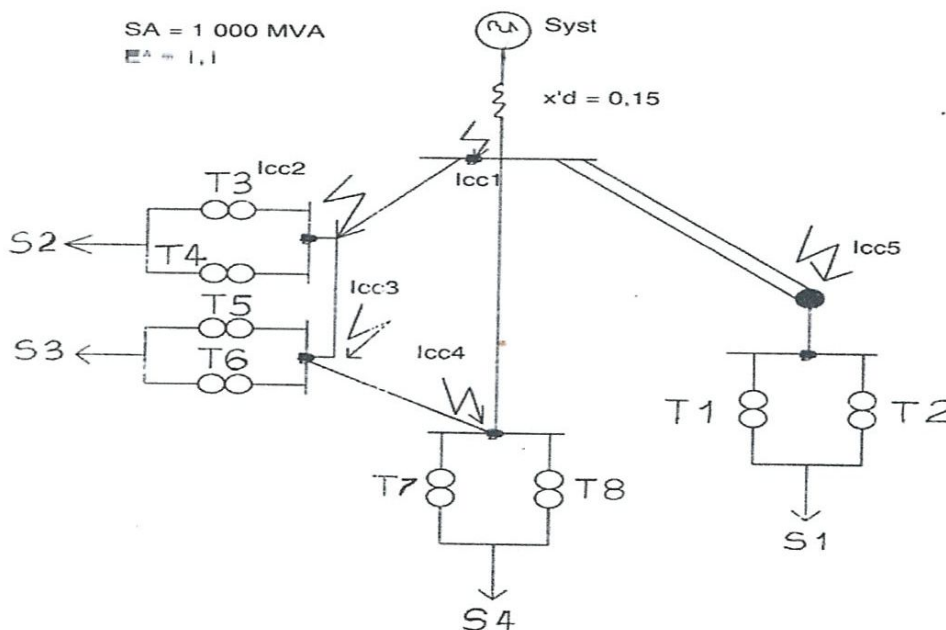
Les admissions mentionnées provoquent l'augmentation du courant de court - circuit calculé de 10 % par rapport au courant réel. C'est admissible pour les calculs pratiques.

III-1- Ordre du calcul des courants de court -circuit :

Le calcul du courant de court circuit se déroule en procédant comme suit :

- On compose le schéma de calcul du réseau électrique à considérer
- D'après le schéma de calcul obtenu en fait le schéma-électrique équivalent;
- On transforme le schéma équivalent en schéma électrique plus simple, où chacune des sources de l'énergie électrique est liée avec le point de court - circuit par la réactance résultante ($x_{rés}$).
- Sachant la force électromotrice résultante transitoire des générateurs ($E'_{rés}$) et la réactance résultante ($x_{rés}$), on calcul la valeur de la composante périodique du courant de court - circuit pour le moment initial $t = 0$), c - à - d, la composante périodique initiale, et le courant de choc.
- On détermine, si c'est nécessaire, les composantes périodiques et apériodiques pour le moment du temps demandé (C).

III- 1- 1- Schéma équivalent du réseau :



III-1-2- Expression des paramètres relatifs de base :

Pour déterminer les paramètres du réseau ainsi que les courants de court - circuit dans chaque point, il faut utiliser la méthode des valeurs relative de base.

Ainsi on prend comme valeur de base :

- La puissance de base $S_b = 300$ MVA

- La tension de base $U_b = 220 \text{ kv}$

Donc le courant de base sera

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} = \frac{300 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3} = 789,47 \text{ A} \dots\dots\dots (III-1)$$

- Réactance du système

$$X'_b = X'_d \cdot \frac{S_b}{S_n} \dots\dots\dots (III-2)$$

- Réactance des transformateurs :

$$X_{bt} = \frac{U_{cc}}{100} * \frac{S_b}{S_{nt}} \dots\dots\dots (III-3)$$

S_{nt} : est la puissance nominale du transformateur.

- Pour les lignes :

$$X_{bl} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_b^2} \dots\dots\dots (III-4)$$

Où : l : longueur de la ligne.

- Pour les charges :

Si une charge puissante est branchée directement à côté du point de court - circuit donc on représente la charge par les paramètres :

$$E_{ch} = 0,85 \text{ et } X^*l = 0,35$$

Donc la réactance de la charge en valeur relative de base:

$$X_{bch} = X^*n \cdot \frac{S_b}{S_n} \dots\dots\dots (III-5)$$

Où : S_n : est la puissance nominale de la charge :

$$S_n = \sqrt{P_{ch}^2 + Q_{ch}^2} \dots\dots\dots (III-6)$$

III-1-3- Calcule des réactances en unité relatives :

$$X_{1b} = X'_d = \frac{S_b}{S_n} = 0,65 \cdot \frac{300}{1000} = 0,195$$

Pour les transformateurs :

$$X_2 = X_{b.t1} = \frac{U_{cc}\%}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nt}} = \frac{12}{100} \cdot \frac{300}{100} = 0,36 A$$

$$X_3 = X_{b.t2} = 0,36 A$$

$$X_4 = X_{b.t3} = 0,36 A$$

$$X_5 = X_{b.t4} = 0,36 A$$

$$X_6 = X_{b.t5} = \frac{12}{100} \cdot \frac{300}{100} = 0,57 A$$

$$X_7 = X_{b.t6} = 0,57 A$$

$$X_8 = X_{b.t7} = 0,36 A$$

$$X_9 = X_{b.t8} = 0,36 A$$

Pour les lignes :

$$X_{10} = X_{b.A1} = X_0 = \frac{L}{2} \cdot \frac{S_b}{U_b^2} = 0,44 \cdot \frac{90}{2} = \frac{300}{(220)^2} = 0,122$$

$$X_{11} = X_{b.A2} = X_0 \cdot La2 \cdot \frac{S_b}{U_b^2} = 0,41 \cdot 70 \cdot \frac{300}{(220)^2} = 0,177$$

$$X_{12} = X_{b.23} = 0,44 \cdot 60 \cdot \frac{300}{(220)^2} = 0,163$$

$$X_{13} = X_{b.34} = 0,44 \cdot 80 \cdot \frac{300}{(220)^2} = 0,218$$

$$X_{14} = X_{b,A4} = 0,41 \cdot 80 = \frac{300}{(220)^2} = 0,203$$

Pour les charges :

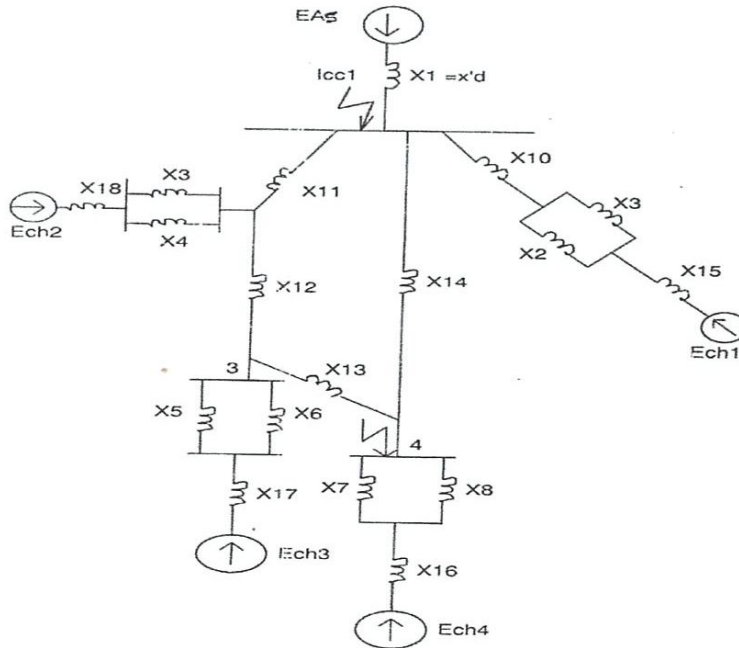
$$X_{15} = X_{bch1} = X^*n \cdot \frac{S_b}{S_{n1}} = 0,35 \cdot \frac{300}{\sqrt{P_{ch1}^2 + P_{ch2}^2}} = 1,049$$

$$X_{16} = X_{bch2} = X^*n \cdot \frac{S_b}{S_n} = 0,35 \cdot \frac{300}{\sqrt{(100)^2 + (62)^2}} = 0,89$$

$$X_{17} = X_{bch3} = X^*n \cdot \frac{S_b}{S_n} = 0,35 \cdot \frac{300}{\sqrt{(50)^2 + (37,5)^2}} = 1,68$$

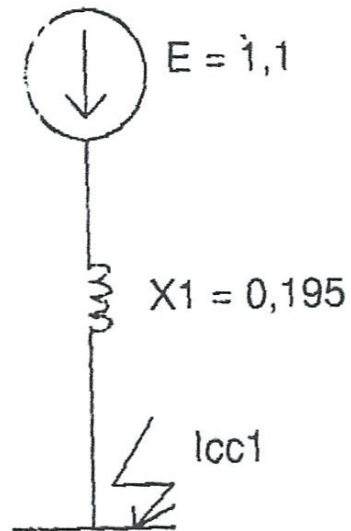
$$X_{18} = X_{bch4} = X^*n \cdot \frac{S_b}{S_{n4}} = 0,35 \cdot \frac{300}{\sqrt{(80)^2 + (79,55)^2}} = 0,98$$

Donc on aura le schéma équivalent suivant :



III - 2- CALCULS DES COURANTS DE COURT - CIRCUIT :**III - 2- 1- CALCUL DU COURANT DE COURT CIRCUIT I_{cc1} :**

On a le schéma équivalent suivant :

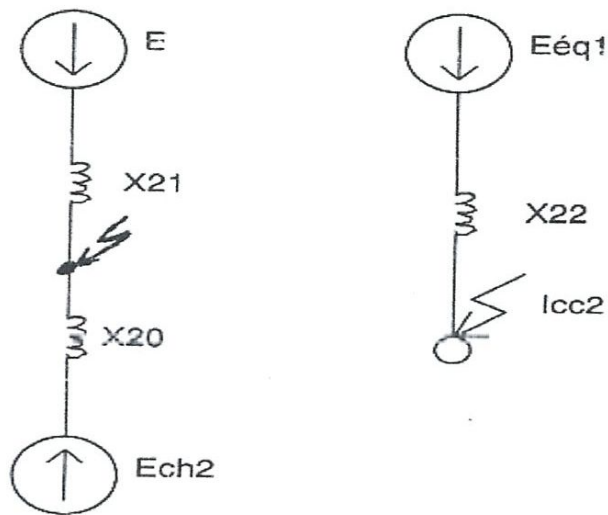


$$\text{D'où : } I_{cc1} = \frac{E}{X_1} = \frac{1,1}{0,195} = 5,64$$

$$I_{cc1 \text{ réel}} = I_{cc1} \cdot I_b = 5,64 \cdot 789,47 = 4,45 \text{ KA.}$$

$$\Rightarrow I_{cc1 \text{ réel}} = 4,45 \text{ KA}$$

Le schéma se réduit a :



$$\text{Ou : } X_{21} = X_I + (X_{11} // X_{19}) = 0,195 + 0,135 = 0,33$$

$$E_{eq1} = \frac{E / X_{21} + E_{ch2} / X_{20}}{1/X_{21} + 1/X_{20}} = \frac{1,1 / 0,33 + 0,85 / 1,16}{1 / 0,33 + 1 / 1,16} = 1,044$$

$$X_{22} = (X_{20} // X_{21}) = 0,256$$

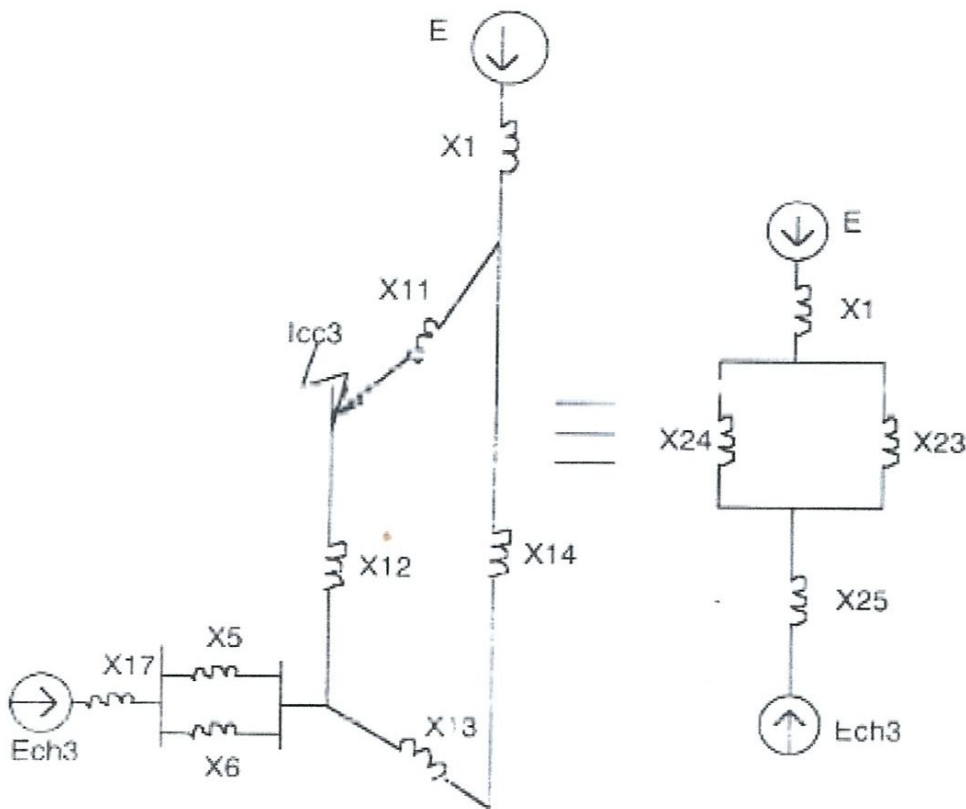
$$\text{Donc : } I_{cc2} = E_{eq1} / X_{22} = 1,044 / 0,256 = 4,078 \text{ KA}$$

$$I_{cc2\text{réel}} = I_{cc2b} \cdot I_b = 4,078 \cdot 789,49 = 3,219 \text{ KV}$$

$$\Rightarrow I_{cc2\text{réel}} = 3,219 \text{ KA}$$

III-2-3- Calcul du courant de court-circuit I_{cc3} :

On a le schéma suivant :

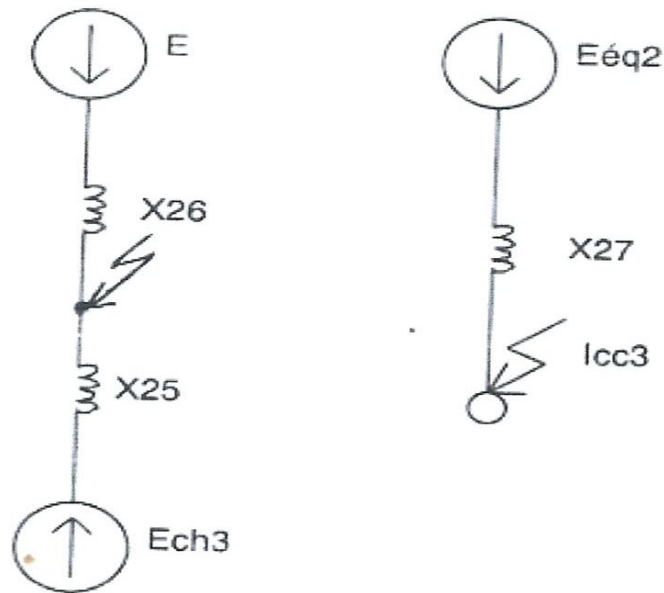


$$\text{Ou : } X_{23} = X_{14} + X_{13} = 0,203 + 0,218 = 0,421$$

$$X_{24} = X_{12} + X_{11} = 0,163 + 0,177 = 0,340$$

$$X_{25} = X_{17} + (X_5 // X_6) = 1,68 + 0,22 = 1,9$$

Le schéma peut se réduire a :



$$\text{Ou : } X_{26} = X_1 + (X_{24} // X_{23}) = 0,195 + 0,188 = 0,383$$

$$E_{éq2} = \frac{E / X_{26} + E_{ch3} / X_{25}}{1 / X_{26} + 1 / X_{25}} = \frac{1,1 / 0,383 + 0,85 / 1,9}{1 / 0,383 + 1 / 1,9} = 1,058$$

$$X_{27} = (X_{25} // X_{26}) = 0,318$$

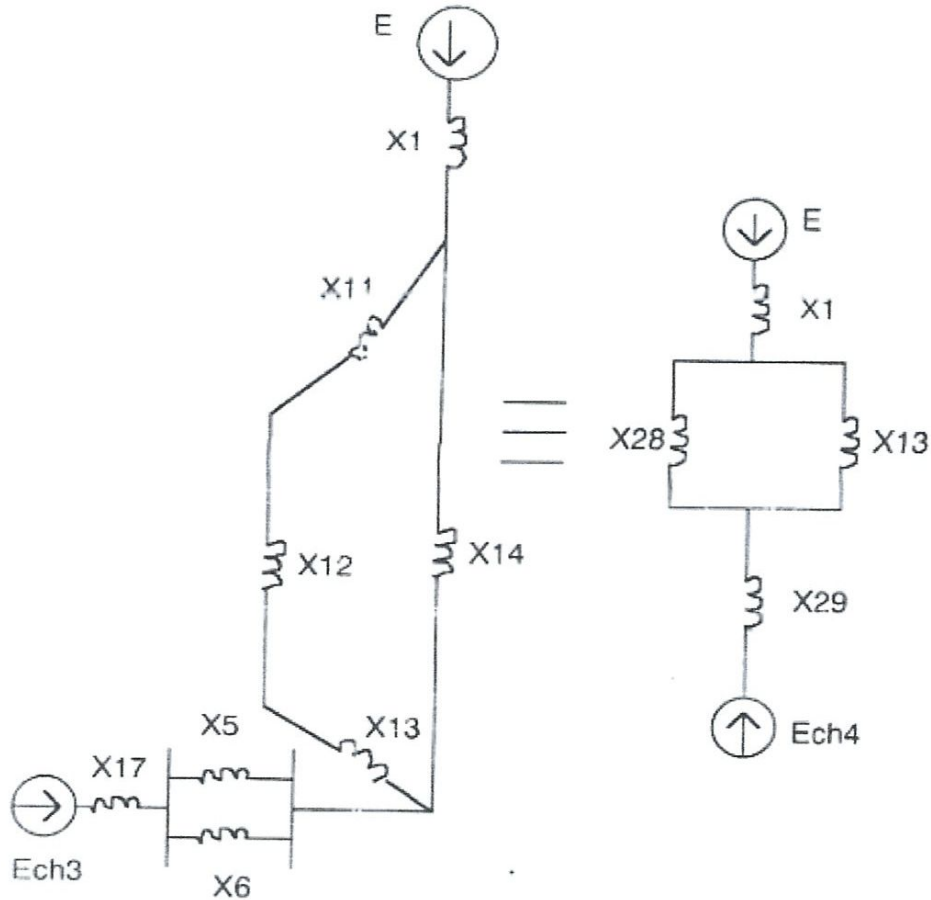
$$\text{Donc : } I_{cc3} = E_{éq2} / X_{27} = 1,058 / 0,318 = 3,327$$

$$I_{cc3\text{réel}} = I_{cc3b} \cdot I_b = 3,327 \cdot 789,47 = 2,626 \text{ KA}$$

$$\Rightarrow I_{cc3\text{réel}} = 2,626 \text{ KA}$$

III-2-4- Calcul du courant de court –circuit I_{cc4} :

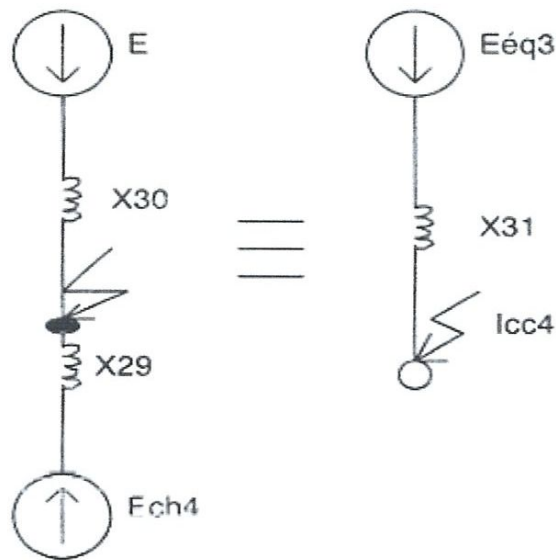
On a le schéma équivalent suivant :



$$\text{Ou : } X_{28} = X_{11} + X_{12} + X_{13} = 0,177 + 0,163 + 0,218 = 0,558$$

$$X_{29} = X_{16} + (X_7 // X_8) = 0,89 + 0,22 = 1,11$$

Le schéma se réduit à :



$$\text{Ou : } X_{30} = X_1 + (X_{28} // X_{14}) = 0,195 + 0,148 = 0,343$$

$$E_{\acute{e}q3} = \frac{E / X_{30} + E_{ch4} / X_{29}}{1 / X_{30} + 1 / X_{29}} = \frac{1,1 / 0,343 + 0,85 / 1,11}{1 / 0,343 + 1 / 1,11} = 1,041$$

$$X_{31} = (X_{29} // X_{30}) = 0,262$$

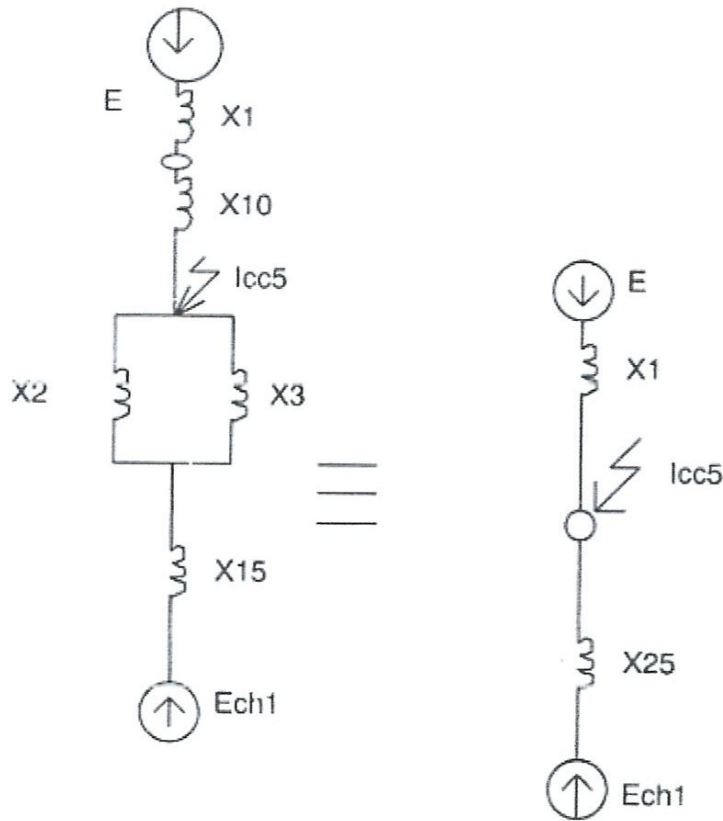
$$\text{Donc : } I_{cc4} = E_{\acute{e}q3} / X_{31} = 3,973$$

$$I_{cc4\acute{r}\acute{e}el} = I_{cc4b} \cdot I_b = 3,973 \cdot 789,47 = 3,136 \text{ KA}$$

$$\Rightarrow I_{cc4\acute{r}\acute{e}el} = 3.136 \text{ KA}$$

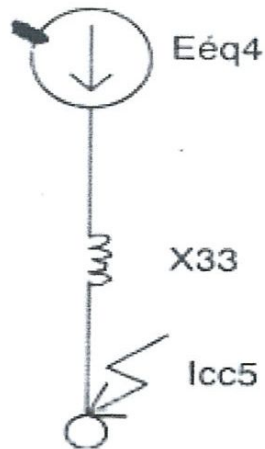
III-2-5-Calcul du courant de court-circuit I_{cc5} :

On a le schéma équivalent suivant :



Ou : $X_{32} = X_{10} + (X_2 // X_3) + X_{15} = 0,123 + 0,18 = 1,351$

Le schéma se réduit à :



Ou : X_1 0,195

$$E_{éq2} = \frac{E / X_1 + E_{ch1} /}{1 / X_1 + 1 / X_{32}} = \frac{1,1 / 0,195 + 0,85 / 1,351}{1 / 0,195 + 1 / 1,351} = 1,068$$

$$X_{33} = (X_{32} // X_1) = 0,17$$

$$\text{Donc : } I_{cc5} = E_{éq4} / X_{33} = 1,068 / 0,17 = 6,282$$

$$I_{cc5\text{réel}} = I_{cc5b} \cdot I_b = 6,282 \cdot 789,47 = 4,959 \text{ KA}$$

$$\Rightarrow I_{cc5\text{réel}} = 4,959 \text{ KA}$$

III-2-6 Calcul du courant de choc :

Le courant de choc est le courant maximal que peut atteindre le courant de court-circuit

$$I_{choc} = \sqrt{2} K_{choc} \cdot I_{cc}$$

$$\text{Ou : } [K_{choc} = 1 + e^{-0,01/Ta}]$$

Facteur de choc correspondent à la durée de temps égal à 0,01 seconde.

Ta : constante du temps donnée par $Ta = X / W \cdot R$

Pour $V = 220 \text{ KV}$ on a $Ta = 0,035$

$$\text{D'où : } [K_{choc} = 1 + e^{-0,01/Ta}] = 1,751$$

Donc au point1 :

$$I_{choc1} = \sqrt{2} \cdot 1,751 \cdot 4,45 = 11,019 \text{ KA}$$

$$I_{choc1} = 11,019 \text{ KA}$$

au point 2 :

$$I_{choc2} = \sqrt{2} \cdot 1,751 \cdot 3,219 = 7,971 \text{ KA}$$

$$I_{choc2} = 7,971 \text{ KA}$$

Au point 3 :

$$I_{choc3} = \sqrt{2} \cdot 1,751 \cdot 2,626 = 6,502 \text{ KA}$$

$$I_{choc3} = 6,502 \text{ KA}$$

Au point 4 :

$$I_{choc4} = \sqrt{2} \cdot 1,751 \cdot 3,136 = 11,019 \text{ KA}$$

$$I_{choc4} = 11,019 \text{ KA}$$

Au point 5 :

$$I_{choc5} = \sqrt{2} \cdot 1,751 \cdot 4,959 = 12,279 \text{ KA}$$

$$I_{choc5} = 12,279 \text{ KA}$$

Conclusion

On a fait dans ce chapitre une étude générale du réseau électrique, avec l'étude de ses différents composants nécessaires à la production, au transport, à la distribution et la livraison de l'énergie électrique.

Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenté la demandes des consommateurs.

Comme on ne peut encore stoker économiquement et grand quantité l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité :

Production = consommation + pertes

l'étude des différents type de court –circuit nous a permet de conclure ce qui suit :

- le court –circuit est un phénomène très fréquent, n'importe quel réseau électrique, station ou sous-station peut être à n'importe quel moment exposé à un défaut de court –circuit.
- -tout court –circuit s'accompagne par une surintensité dont la valeur dépend de plusieurs facteurs allant du point de son apparition jusqu'à la source.
- l'étude a montré que cette augmentation n'a pas seulement des conséquences néfastes sur le matériel, mais aussi elle peut mettre en péril la vie des usagers.
- pour déterminer le courant de court –circuit il est impératif de connaître les paramètres du réseau, et essentiellement les impédances du neutre.
- -les courants de court –circuit s'annulent lorsque l'impédance de la boucle de défauts est infinie.

LIST DES FIGURES

Chapitre 1 Les réseaux électriques

Fig. I.1 : ligne 400 kV.....	02
Fig. I.2 : Schéma d'un réseau électrique.....	02
Fig. I.3: Hiérarchisation d'un réseau.....	04
Fig. I.4: Topologie des réseaux.....	05
Fig. I.5 : Exemple d'un réseau de transport.....	06
Fig. I.6 : Différents modes de distribution.....	08
Fig. I.7:Différents régimes de neutre MT utilisée dans le monde.....	10
Fig. I.8 : Les centrales thermiques à flamme.....	12
Fig. I.9. Centrale nucléaire	13
Fig. I.10. Centrale hydro-électrique	13
Fig. I.11.Centrale Photovoltaïque.....	14
Fig. I.12.Centrale éolienne.....	14
Fig. I.13 : les composantes électriques dans un poste.....	16
Fig. I.14 : Les lignes aériennes	18
Fig. I.15 : Les différents types des pylônes.....	19
Fig. I.16 : câble conducteur	19
Fig. I.17 : câble de garde	19
Fig. I.18 : Balise	20
Fig. I.19 : Isolateur	20
Fig. I.20 : Parafoudre	20
Fig. I.21 : Eclateur MT avec tige anti-oiseaux	21
Fig. I.22 : Coupe type d'un câble souterrain	21
Fig. I.23 : type de Câble souterrain.....	22
Fig. I.24 : Disjoncteur 800kv.....	22
Fig. I.25 : sectionneurs.....	23
Fig. I.26 : interrupteur	23
Fig. I.27 : Transformateur.....	24
Fig. I.28 : circuit magnétique d' un transformateur	25
Fig. I.29 : Les enroulements.....	26
Fig. I.30 : Composants d'un transformateur de puissance.....	26

Chapitre 2 Les courts-circuits

Fig. II.1 : Fréquence d'apparition des Différents types de courts- circuits.....	29
Fig. II.2 : Court-Circuit triphasé à la terre.....	30
Fig. II.3 : Représentation complexe du défaut triphasé.....	31
Fig. II.4 : Court-Circuit triphasé non à la terre.....	32
Fig. II.5 : Défaut Biphase.....	34
Fig. II.6 : Représentation complexe du défaut Biphase.....	35
Fig. II.7 : Défaut Biphase à la terre.....	36
Fig. II-8 : Représentation complexe du défaut biphase terre.....	38

Fig. II.9: Régime TT.....	40
Fig. II.10 : Régime TN.....	41
Fig. II.11 : Régime TNC et TNS.....	41
Fig. II.12 : Régime IT.....	42
Fig. II.13 : Défaut phase terre.....	42
Fig. II.14 : Représentation en composantes symétriques	44
Fig. II-15 : F.E.D lors d'un court-circuit biphasé.....	46

Bibliographie

- <https://fr.scribd.com/doc/4597291/Generalites-sur-les-reseaux-lectriques#scribd>
- http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_%C3%A9lectrique
- http://www.electrosup.com/reseau_electrique.php
- http://www.elia.be/~media/files/Elia/publications-2/brochures/Brochure-Cable_pose-des-liaisons-souterraines_FR.pdf
- http://www.elia.be/~media/files/Elia/publications-2/brochures/Brochure-Cable_pose-des-liaisons-souterraines_FR.pdf
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur_de_puissance
- <http://www.electrocouffigna.site.ac-strasbourg.fr/site-php/postbac2011/exposes/diaporama-bitsch.pdf>
- http://www.tsv-transfo.com/index.mc.Fonctionnement-transformateur-pertes.rub_id.217.rub2_id.774.html
- http://www.discip.ac-caen.fr/phch/college/troisieme/exos_interactifs/centrales_web/co/module_centrales_2.html
- Frédéric de coulou et marcel jufer " traité d'électricité: Introduction à l'électrotechnique" Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne Vol,1 1995.
- Patrick Lagonotte " les installations électriques" France "Janvier 2000"

- M.VIAL " électricité professionnels: protection des personnes et des matériels"
- M.Pétard: "Généralité sur la protection d'énergie électrique; EDF" France 1979.
- L.Robert; Larocca " Personnel protection devices for us appliances" IEEE Transaction on industrie application Vol,1-2 1992
- Michcl Aguct ct Jean- Jacques Morf "traité d'électricité: énergie électrique" Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne Vol,XII 1990.
- Guide de conception MT, Guide technique Merlin Gerin, Schneider Electric Guide UTE C 15-105