

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electrotechnique

Mémoire de Fin d'Etudes

en vue de l'obtention du diplôme

d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique
Option Réseaux Electriques

Thème

*Restructuration du réseau de
distribution d'énergie pour l'éclairage
nocturne du stade El-Eulma*

Présenté par : TAGUINE Kahina

Dirigé par : F. BITAM-MEGHERBI UMMTO
O. BEGGAZ EROE

Soutenu le : 04/10/2012

Promotion 2012

CHAPITRE I GENERALITES

I-1-INTRODUCTION	1
I-2-LA LUMIERE	1
I-2-3- DIFFERENTES LUMIERES	2
I-2-4-GRANDEURS PHOTOMETRIQUES	3
1-2-4-1 Intensite lumineuse	3
1-2-4-2-Eclairment (E)	3
I-2-4-3-Luminance	3
I-2-4-4-Flux lumineux F	4
I-2-4-5--Puissance P	4
I-2-4-6-Efficacité lumineuse de l'installation El	5
I-2-4-7-Rendu des couleurs IRC	5
I-2-4-8-Température de couleur	5
I-2-4-8-Eblouissement	5
I-2-4-10-Uniformité des luminances	5
I-2-4-11-Indice de résistance aux chocs IK	6
I-2-4-12- Indice de protection IP	6
I-2-5 LES DIFFERENTS MODES D'ECLAIREMENT D'UNE AIRE DE JEU D'UN	7
I-2-5-1- Definition d'une aire de jeu	7
I-3- RESEAU ELECTRIQUE	7
I-3-1-STRUCTURE DES RESEAUX	8
I-3-2-Réseau radial ou en étoile	8
I-3-3-Réseau en boucle	8

I-3-4- Réseau maille ou connecte	9
I-3-5- Réseaux de distribution publiques	9
I-3-6-Réseaux de distribution privés	9
I-4 -POSTE DE LIVRAISON	10
I-4-1-DEFINITIONS DU POSTE HTA/BT A COMPTAGE BT	10
<i>I-4-2-1-Les postes d'extérieur</i>	10
<i>I-4-2-2-Les postes d'intérieur</i>	10
❖ POSTE DE LIVRAISON HTA/BT	11
❖ POSTE HTA/BT EN HAUT DE POTEAU	12
❖ Postes préfabriqués monobloc	13
I-4-3- FONCTIONNEMENT D'UN POSTE	14
<i>Chapitre II</i>	
GRANDEURS ELECTRIQUE	
II-1- POSTE TRANSFORMATEUR	16
.II-2- CELLULE HTA	17
II-2-1 RACCORDEMENT	18
II-3 ARMOIRE GENERAL BASSE TENSION	19
II-3-2-TABLEAU DE DISTRIBUTION ELECTRIQUE (TD)	20

II-4 DISJONCTEURS	21
II-5 LES PROJECTEURS	21
II-5-1 LES CARRACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PROJECTEURS ET DES LAMPES	21
II-5-1- LES CARACTERISTIQUES DES PROJECTEURS	21
II-5-2-LES LAMPES A IODURE METALLIQUE	22
II-5-3-Les principales caracteristiques de la lampe	22
II-5-4-Ballasts pour lampes iodure métallique	23
<i>C HAPITRE III</i>	
DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE DU STADE	
III-1 TRANSFORMATEUR	24
III-1-2-BILAN DE PUISSANCE	24
III-1-3 La puissance totale au niveau des 4 mâts	24
III-1-4 Calcul de la puissance du transformateur	24
III-1-5 Choix final de la puissance du transformateur	25
<i>III-1-4 Calcul de la valeur du courant de court-circuit à la sortie du transformateur</i>	25
III-1-6 <i>Calibre du disjoncteur de tête</i>	25
III-1-5 LES CARRACTERISTIQUE S DE FABRICATION D'UN TRONSFORMATEUR	26
III-2 CALCUL DU TGBT ET ARMOIRES DE DISTRIBUTION	28
III-2-1 LA PUISSANCE D'UN DEPART DE L'ARMOIRE PIED DE MAT	28
III-2-2 LA PUISSANCE CONSOMMEE PAR L'ARMOIRE PIED DE MAT 1	28
III-2-3 LE COURANT ABSORBE AU NIVEAU D'UNE ARMOIRE PIED DE MAT	28
III-2-4 CHOIX DU CALIBRE DE L'APPAREIL DE PROTECTION	29
III-3 CALCUL DES SECTIONS DE TENSIONS DIFFERENTES LONGUEURS IMPOSEES PAR LES CHUTES	29
III-3-1- DIFFERENTES METHODES DE CALCULE DE CHUTES DE TENSIONS	29
1-Méthode générale (théorie des quadripôles)	29
2-Méthode de séparation de puissance active et réactive	39
3- Méthode par approximation successive_	39

4-Méthode simplifiée	42
5-Méthode des moments électriques	45
CALCUL DE DIFFERENTES SECTION	46

CHAPITRE IV LES PROTECTIONS

IV.1 Introduction	49
IV.2 Défauts électriques	49
IV.2.3 Différents types de défauts	50
IV.2.4 Classification des défauts	51
IV-2-5-7-LES DIFFERENTS SCHEMAS DU NEUTRE	52
IV.2.6 Etude des courants de court circuit	62
IV.3 Protection des réseaux MT	69
IV.3.2 - Qualités principales d'un système de protection	70
IV.3.3-Protection des transformateur HT/MT	71
IV.4-1 Appareils de protection	72
IV -5 Conclusion	73
CONCLUSION GENERALE	74

Introduction générale

Qu'il s'agisse de surface à vocation industrielle ou commerciale de structure architecturale majestueuse ou de vaste espace décoratif, un bon éclairage requiert des projecteurs très performants des points de vue de la puissance, de la qualité photométrique, de la précision des faisceaux.

Dans le cas de notre projet, qui est « L' ECLAIRAGE NOTURENE DU STADE EL EULMA » Les spectateurs doivent pouvoir suivre d'une manière agréable la prestation des joueurs, et l'environnement immédiat, entrer dans le stade et en sortir en toute sécurité.

La télévision doit pouvoir obtenir des images de bonne qualité.

Et pour cela nous devons assurer une bonne étude avant l'installation des projecteurs.

Avant d'entamer le vif du sujet nous avons fait un rappèle dans le chap I des généralités concernant la lumière et les unités photométrique, définis les différents réseaux électrique ; réseau de distribution et poste HTA/BT et les différents poste de livraison; puis défini dans le chapitre II les différentes grandeurs électrique dont notre projet a besoin à savoir le poste , les cellules HTA ;le rôle d'un TGBT et les armoires de distribution.

Après avoir défini les grandeurs électrique nous les dimensionnons dans chapitre III

Et nous terminons ce travail par le chapitre 4 qui est consacré aux différentes protections réseau « SONELGAZ » ; ainsi concernant l' installation et une conclusion générale.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

I-1-INTRODUCTION

L'éclairage apparaît aux plus anciennes origines de l'homme, dès l'apparition du feu qui va chauffer, cuire et éclairer. Il sommeillera dans son foyer, alimenté sur place pour ne jamais s'éteindre, puis transporté pour donner ailleurs un autre feu. Jusqu'à ce qu'un jour un individu utilise l'un de ces morceaux de bois pour se déplacer avec, là où il ne pouvait voir auparavant.

En domestiquant le feu, et peut être même bien avant de pouvoir l'allumer à sa guise, était né l'éclairage.

I-2-LA LUMIERE [2]

La **lumière** est l'ensemble des ondes électromagnétiques visibles par l'œil humain, dont les longueurs d'onde sont comprises entre 380 nm (violet) et 780 nm (rouge).

La lumière est intimement liée à la notion de couleur.

C'est Isaac Newton qui propose pour la première fois au XVII^e siècle un cercle des couleurs chromatiques fondé sur la décomposition de la lumière blanche.

Outre la lumière visible, par extension, on appelle parfois « lumière » d'autres ondes électromagnétiques, telles que celles situées dans les domaines infrarouge et ultraviolet.

La lumière se déplace en ligne droite dans tout milieu transparent homogène, en particulier le vide ou l'air. Elle peut en revanche changer de trajectoire lors du passage d'un milieu à un autre.

Dans le vide, la lumière se déplace à une vitesse strictement fixe . On trouve d'ailleurs souvent l'affirmation « la vitesse de la lumière est constante », le « dans le vide » étant alors sous-entendu.

La lumière est un peu plus lente dans l'air, et notablement plus lente dans l'eau. Le principe de Fermat ou les lois de Descartes permettent de déduire les changements de trajectoire de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à l'autre en fonction de sa vitesse dans chacun des milieux.

La lumière peut d'ailleurs être décomposée (les faisceaux prennent des directions différentes selon leur longueur d'onde, et donc selon leur couleur pour la lumière visible) à force de traverser différents milieux transparents, car la vitesse peut dépendre de la fréquence.

I-2-3- DIFFERENTES LUMIERES :

- **Lumière céleste** : soleil, étoiles, lune....
- **Lumière chimiques** : Certains organismes vivants : poissons, mollusques, lucioles et vers luisants, sont le siège de réactions chimiques productrices de lumières.
- **Lumière électriques** : Les lumières électriques sont les sources les plus courantes de lumière aujourd'hui : lampadaires, spots, phares, lampes-torches, projecteurs etc., elles peuvent utiliser un phénomène de chauffage ou un phénomène quantique.
- **Lumière quantiques** : la fluorescence, les lasers, les lampes à vapeur de mercure ou de sodium, les plasmas tels que ceux produits par les éclairs dans les orages, produisent de la lumière issue de phénomènes quantiques au cœur des atomes : l'excitation des électrons ("pompage optique"), peut être obtenu par excitation, puis désexcitation de ces électrons, qui en retournant à leur niveau d'énergie habituel, émettent des photons (lumière)

I-2-4-GRANDEURS PHOTOMETRIQUES

1-Intensité lumineuse d'une source I :

L'intensité lumineuse c'est la quantité d'énergie émise par une source dans une direction donnée ; elle permet de décrire comment l'ensemble du flux émis par une source se répartit dans l'espace dans une direction est le rapport entre le flux lumineux quittant la source et se propageant dans un élément d'angle solide contenant la direction et cet élément d'angle solide.

Unité : candela (cd)

$$[cd = \text{lumen} / \text{stéradian}]$$

2-Eclairement (E) :

L'éclairement est le rapport du flux lumineux reçu par l'aire de la surface. Il permet de quantifier la lumière reçue par une surface.

L'éclairement est indépendant de la nature de la surface, dépend de l'orientation de la surface par rapport à la source et inversement proportionnel au carré de la distance entre la source et la surface.

Suivant la surface considérée, on parlera soit d'éclairement horizontal soit d'éclairement vertical.

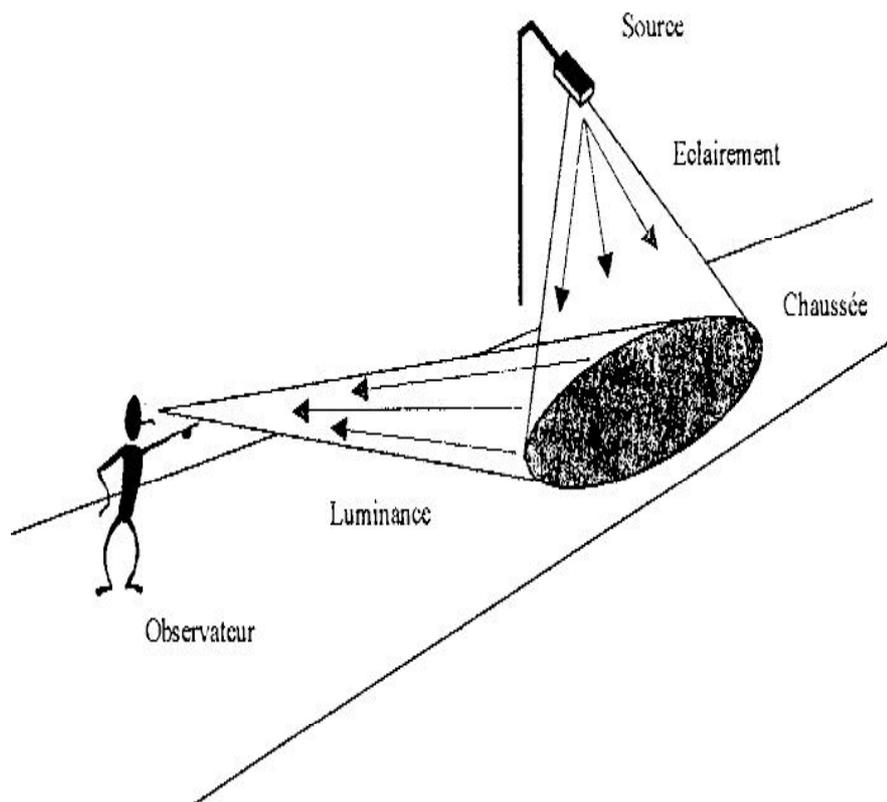
$$\text{Unité : lux (lx) ; } [lx = lm/m^2]$$

3-Luminance

La luminance d'une surface ou d'une source notée (L) traduit l'impression lumineuse perçue par un observateur regardant cette surface ou cette source.

Elle dépend du pouvoir de réflexion de la surface et de la position de l'observateur par rapport à celle-ci.

Unité : candela par m² ; (cd/m²).



4-Flux lumineux noté (F) :

Le flux lumineux c'est la quantité d'énergie émise par une source par unité de temps.

Unité : lumen (lm)

5—Puissance notée (P):

C'est la Puissance consommée par la lampe.

Unité : watt (W)

6-Efficacité lumineuse de l'installation notée (EI) :

Efficacité lumineuse de l'installation est le rapport du flux lumineux émis par la source sur la puissance consommée, et caractérise le rendement du couple source-appareillage.

Unité : lumen/ watt (lm/W).

7-Rendu des couleurs noté (IRC) :

Rendu des couleurs exprime le pouvoir pour une source de restituer correctement les couleurs éclairées. IRC varie de 0 à 100. Un indice élevé (> 80) indique un excellent rendu des couleurs mais se fait au détriment de l'efficacité lumineuse de la source.

8-Température de couleur noté (T°):

Température de couleur du corps noir qui émet un rayonnement ayant la même chromaticité que le rayonnement considéré. Cette température permet de quantifier la tonalité chaude ou froide de l'impression visuelle et de préciser le degré de coloration de la lumière émise. Lumière dite froide au-dessus de 3500°K favorisant les bleus et les verts et lumière dite chaude au-dessous de 3500°K favorisant les jaunes et rouges.

Unité : °K

9-Eblouissement :

L'éblouissement c'est la condition de vision dans lesquelles on éprouve une gêne et/ou une réduction de l'aptitude à distinguer des objets par suite d'une répartition défavorable des luminances ou par suite de contrastes excessifs dans l'espace et dans le temps. La limitation d'éblouissement causé par l'installation s'exprime par le coefficient TI.

10-Uniformité des luminances :

Il faut que la répartition de la luminance sur le revêtement soit uniforme pour qu'un obstacle se détache par silhouette quelles que soient sa position et la position de l'observateur. C'est cette uniformité qui procure visibilité et confort au conducteur. On distingue UI et Um.

➤ **uniformité de luminance moyenne (Um) :**

Rapport de la luminance minimale à la luminance moyenne. Um permet d'apprécier l'impression de qualité de l'ensemble du revêtement considéré.

➤ **uniformité de luminance longitudinale (Ul) :**

C'est rapport de la luminance minimale à la luminance maximale dans l'axe des voies de circulation. Il y a donc autant d'Ul que d'axes de circulation. Par exemple, s'il y a 2 bandes, il ya 2 Ul.

11-Indice de résistance aux chocs IK:

indice qui caractérise le degré de protection du luminaire contre les impacts mécaniques (énergie de l'impact donnée en Joule).

Indice aux résistances au choc (IK)	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Energie (Joule)	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5		20

12- Indice de protection IP :

Indice de protection c'est un indice de 2 chiffres qui caractérise la protection du luminaire vis-à-vis des contacts directs.

Le premier chiffre à gauche indique la protection contre la pénétration des corps solide

le deuxième chiffre à droite indique la protection contre la pénétration des liquides

I-2-5 LES DIFFERENTS MODES D'ECLAIREMENT D'UNE AIRE DE JEU D'UN STADE :

I-2-5-1- Définition d'une aire de jeu :

L'aire de jeu à éclairer comprend l'aire sportive plus une zone de sécurité de 1.50m autour de cette dernière à savoir :

Le terrain de football, la piste d'athlétisme ainsi que les ateliers de lancer et de sauts.

Après avoir parler d'une manière générale de la photometrie nous abordons la photométrie d'un stade qui consiste a respecter les différents niveaux d'éclairéments exigés par la FIFA :

- 100 Lux exigé pour les spectateurs.
- 300 Lux pour l'entraînement ; et les équipements scéniques
- 800 Lux pour les matchs sans retransmission.
- 1000 Lux pour la piste d'athlétisme et les différents ateliers de saut
- 1200 Lux pour le stade de football avec retransmission
- 1400 Lux exigés pour les matchs de la coupe du monde.
- 1600 Lux pour la transmission TV couleur HD.

Le calcul est fait a l'aide d'un logiciel appelé « CALCULUX », en donnant à ce logiciel le plan de masse ; l'implantation et la hauteur des mats ; il nous calcule le nombre de projecteurs et leurs orientation selon les différents modes d'éclairément; le positionnement de projecteurs se fait par un appareil appelé « viseur ».

Et pour les mesures des flux on utilise un « LUXEMETRE » pour vérifier le nombre de lux sur les aires de jeux.

I-3- RESEAU ELECTRIQUE : [5]

Il est hors de question de parler de la distribution d'énergie sans parler de différents types de réseaux 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

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...).

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

I-3-1-STRUCTURE DES RESEAUX

Le concept de réseau englobe la totalité des installations, notamment les lignes aériennes, les câbles, les transformateurs et les appareils avec leurs moyens de contrôle et de sécurité, les interrupteurs, etc., nécessaires au transport et à la distribution de l'énergie électrique. On distingue trois types de réseau, expliqués au moyen des exemples suivants basés sur un réseau à basse tension.

I-3-2-Réseau radial ou en étoile

Il représente le réseau sous sa forme la plus simple. Les lignes partent d'un point central, par exemple une station de transformation locale, et rayonnent depuis celui-ci. Si une perturbation se produit sur ce type de réseau, l'alimentation électrique de tous les clients rattachés à ce rayon défectueux est interrompue, jusqu'à ce que la panne soit réparée. La panne d'une station de transformation peut paralyser tout un quartier.

I-3-3-Réseau en boucle

L'assemblage en boucle des lignes permet de mettre hors circuit une partie de la ligne défectueuse grâce à ses points de séparation. L'alimentation électrique est interrompue uniquement dans cette partie jusqu'à la réparation de la panne ; le reste du réseau peut continuer à fonctionner.

I-3-4- Réseau maille ou connecte

Lorsque des lignes en boucle sont regroupées pour relier des points très éloignés les uns des autres, elles forment un réseau maillé. Ce type de réseau offre une très grande fiabilité d'approvisionnement car chaque tronçon de ligne peut être alimenté via différentes voies. Même une défaillance sur plusieurs tronçons n'engendre pas une grosse perturbation. Les réseaux maillés sont surtout construits et exploités là où la sécurité d'approvisionnement d'un grand nombre de clients peut être compromise par une perturbation, comme c'est particulièrement le cas pour les réseaux de transport et de distribution haute tension.

I-3-5- Réseaux de distribution publique [2]

Ils ont pour objectif de raccorder l'ensemble des consommateurs. C'est une mission de service publique, mais ces réseaux peuvent être exploités et entretenus par des organismes nationaux (ex. ERDF en France), des régies locales ou des sociétés privées (cas par exemple de l'Angleterre). On appelle ces sociétés des "régies de distribution" ou encore des "distributeurs". Ces régies sont également chargées de gérer la facturation des clients et donc de mesurer leur consommation (metering ou comptage).

I-3-6- Réseaux de distribution privés

Ils ont pour but d'acheminer l'énergie au sein même d'un site : industrie lourde, aéroports, sous- stations de traction ferroviaire, ensembles commerciaux...

En France et dans les pays du Maghreb, la majorité des clients industriels sont raccordés au réseau en HTA (souvent du 20kV), même si certains gros consommateurs (métallurgistes, cimentiers, etc.) sont parfois directement raccordés au réseau HTB (jusqu'à 220kV), pour des raisons d'économies sur le prix de la fourniture d'énergie : ils ne sont alors plus tenus de rémunérer le distributeur, mais doivent en contrepartie investir dans une installation plus lourde et donc plus chère à l'achat

I-4 -POSTE DE LIVRAISON :

DEFINITION :

I-4-1-DEFINITIONS DU POSTE HTA/BT A COMPTAGE BT :

On désigne par « **poste** » une installation électrique raccordé a un réseau public ou privé de distribution d'énergie.

Poste de transformation HTA/BT s'appelle aussi poste de livraison HTA/BT, il doit être installé dans des locaux inaccessibles au public ou au personnel non autorisé

L'installation électrique raccordé au réseau de distribution sous une tension nominale de 1 à 30 kV comprenant un transformateur HTA/BT dont le courant secondaire assigné est au plus égal a 1kA (ce qui correspond à $P_{\max} \leq 800$ kVA pour un transformateur de 30 kV/400V.

L'installation se situe généralement dans un local incluant ou non le tableau général basse tension, le local tout entier constitue le poste ; des groupes de remplacement BT quand ils existent sont situés en général dans un local séparés.

Le poste de livraison comporte essentiellement de l'appareillage et un ou plusieurs transformateurs voir figure 1.

I-4-2- LES DIFFERENTS TYPES DE POSTES HTA/BT

On peut classer les postes HTA/BT en deux catégories.

I-4-2-1-Les postes d'extérieur

- Poste sur poteau : puissances 25 – 50 – 100 kVA.
- Postes préfabriqués :

-en bas de poteau : de 100 à 250 kVA poste compact : de 160 à 1 250 kVA.

- Poste maçonné traditionnel : de 160 à 1 250 kVA.

I-4-2-2-Les postes d'intérieur

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

Les puissances sont comprises entre 100 et 1 250 kVA. Le comptage BT doit être remplacé par un comptage HT dès que l'installation dépasse 2 000 A, ou s'il existe plusieurs transformateurs.

Remarques

• *Le poste de livraison est alimenté par « SONEGAS » dont le réseau a une tension normalisée de 30 kV.*

Dans certaines régions, cette tension peut être de 5, 10, 15 ou 30 kV.

• *L'alimentation peut être aérienne ou souterraine. Selon les cas, elle s'effectue en simple dérivation, en boucle, en coupure d'artère ou en double dérivation.*

• *Pour les puissances inférieures à 1 250 kVA, on aura souvent intérêt à choisir un poste avec comptage en basse tension, moins onéreux.*

En fonction des besoins en énergie des utilisateurs, il existe différents types de postes de livraison d'énergie:

-Le logement individuel en BT (de 3kV à 36kVA)

-Les usages professionnels à partir de poste HTA/BT (36 kVA à 250kVA)

-Pour les puissances supérieures à 250 kVA, la livraison de l'énergie s'effectue en 30kV ou plus.

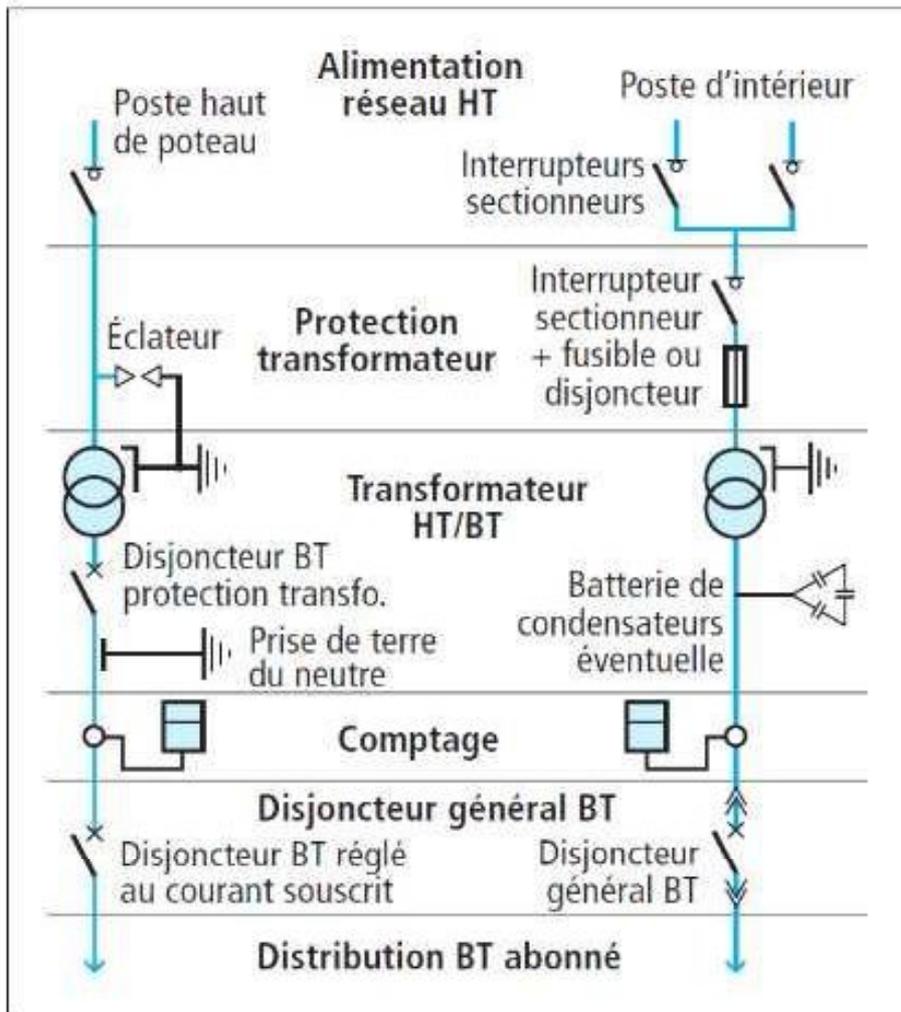
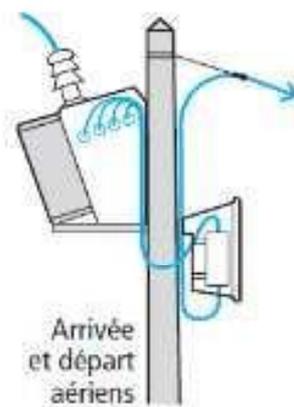


Fig. 1 : Structure générale d'un poste HTA/BT.

❖ POSTE HTA/BT EN HAUT DE POTEAU

Le transformateur et l'appareillage sont fixés sur le poteau, l'alimentation est aérienne, le départ s'effectue en aérien ou en souterrain (figure 2)



Transformateur aérien (Schneider Electric).

Figure 2

❖ Postes préfabriqués monobloc

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

Ces postes sont très compacts et leur mise en place est très rapide.

Il en existe une grande variété selon le milieu (urbain ou rural), selon les puissances installées et le type d'alimentation (en aérien ou en souterrain). (Figure 3)

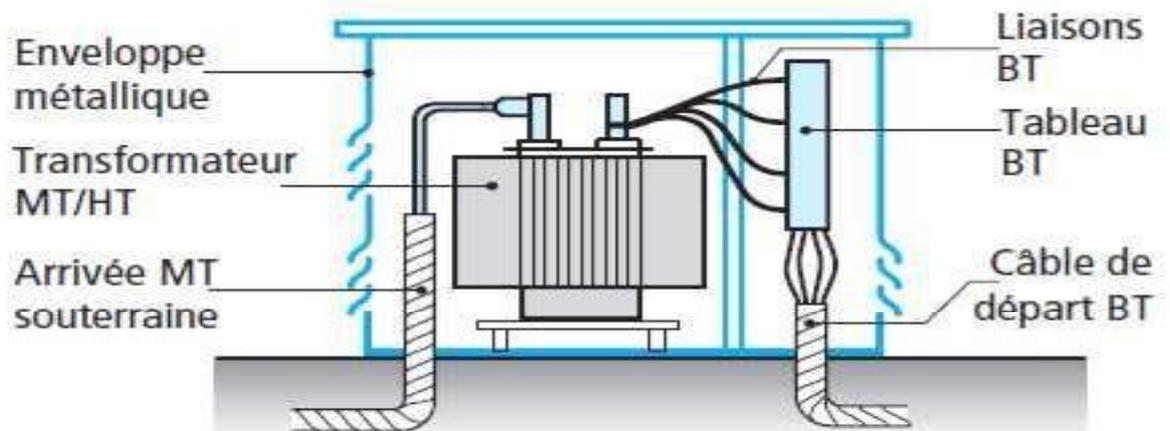


Figure 3

Constitution

- Le tableau BT comporte un interrupteur avec fusibles ou un disjoncteur avec coupure visible.
- La puissance du transformateur est comprise entre 100 kVA et 1 000 kVA .

Ce type de poste est transporté par camion. Il est déposé sur une dalle en ciment, le montage consiste à raccorder les câbles d'arrivée et de départ.

I-4-3- FONCTIONNEMENT D'UN POSTE

Les fonctions d'un poste intégrant, au delà des équipements électrique , la réponse à un ensemble de besoin prenant en compte l'environnement global dans le quel ils sont utilisés.

Les fonctions habituelles de cette installation sont , outre de raccordement aux réseau avec comptage :

- dérivation du courant sur le réseau
- protection du transformateur côté HT
- transformation HTA/BT
- protection du transformateur côté BT
- comptage d'énergie

La transformation du niveau de tension de l'énergie et sa répartition vers l'aval , et parfois la production d'énergie.

De nouvelles technologies maitrise de l'Ingegnerie et la réalisation des solutions complètes de distribution d'énergie HTA/BT :

- **Equipement électrique pour poste.**

- Surveillance des paramètres de fonctionnement de ces équipement par des centrales de mesures logiciels).
- La communication des équipements.

- **Poste préfabriqués :**

Equipés, aménagés ou personnalisé, intégrant toutes les contraintes environnement.

CHAPITRE II
DIMENSIONNEMENT
ÉLECTRIQUE

II-1- POSTE TRANSFORMATEUR :



Dans un transformateur statique, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que constitue la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés. Ceci permet de réaliser un isolement galvanique entre les deux circuits. Dans une commutatrice, l'énergie est transmise de manière mécanique entre une génératrice et un moteur électrique.

Son rôle consiste à élever la tension électrique produite à fin de rendre l'électricité transportable sur de grande distance.

En effet, plus la longueur des lignes est importante plus le courant perd de son énergie en route, c'est pourquoi le transport s'effectue sous une tension élevée.

En fonction de l'utilisateur final et de ses besoins en électricité, il est nécessaire d'abaisser la

tension électrique par échelon successif par une série de transformateur dont la taille est fonction de la puissance à transiter.

Les transformateurs, situés à l'extérieur des cellules, peuvent être de type :
sec enrobés : l'isolation est alors réalisée par moulage sous vide des enroulements dans un isolant à base de résine epoxy. Ils sont alors refroidis par l'air environnant. Ces transformateurs nécessitent peu de maintenance.

Il existe aussi de nombreux transformateurs isolés dans un fluide diélectrique liquide (appelé huile diélectrique par abus de langage) qui évacue l'énergie dégagée par le transformateur. On parle de transformateur immergé.

Un transformateur immergé peut être plus puissant qu'un transformateur sec mais nécessite plus d'entretien.

.II-2- CELLULE HTA :[2]

Dans les postes sources, les postes d'aiguillage ou les installations industrielles, on utilise des "cellules". Une cellule correspond à une fonction. Elle se présente sous la forme d'une armoire, et comporte généralement l'ensemble des équipements constituant une travée (sectionnement, coupure par disjoncteur ou fusible, appareillage de mesure et de contrôle).

Un poste moyenne tension HTA est alors réalisé par l'assemblage et la combinaison de plusieurs cellules entre elles. Chaque cellule comporte une partie du ou des jeux de barre.

Il existe de nombreux types de cellules : sectionnement à fusible, disjoncteur, couplage... De même, on distingue les cellules isolées dans l'air des cellules isolées dans le gaz (GIS).

Au niveau du disjoncteur, la coupure dans l'air est la plus utilisée (on parle alors d'ampoule à vide), bien que certains constructeurs poussent à l'utilisation du SF₆, utilisé dans notre cas même qu'il est controversé pour sa contribution à l'effet de serre et les risques induits par l'utilisation d'un gaz sous pression (sécurité, maintenance). Les cellules sont toujours utilisées dans des bâtiments. Il existe également des postes moyenne tension dits ouverts (AIS), dont le fonctionnement est strictement

identique aux sous-stations AIS HTB.

Dans notre poste HTA/BT on a utilisé la Les cellules SM6 conçues pour les installations intérieures (IP2XC).

Elles bénéficient de dimensions réduites :

- largeurs 375 mm à 750 mm ;
- hauteur 1600 mm ;
- profondeur au sol 840 mm...

qui leur permettent d'être installées dans un local exigü ou dans un poste préfabriqué.

Les câbles sont raccordés par l'avant des cellules.

L'exploitation est simplifiée par le regroupement de toutes les commandes sur un plastron frontal.

Les cellules peuvent être équipées de nombreux accessoires (relayage, tores, transformateurs de mesure, parafoudres, contrôle-commande...).



TRANSFORMATEUR

CELLULES 'HTA'

II-2-1 RACCORDEMENT

L'alimentation du poste est insérée en série sur la ligne du réseau de distribution moyenne tension en boucle, et permet le passage du courant de la ligne via un jeu de barres. Ce type de raccordement permet deux alimentations possibles pour les récepteurs

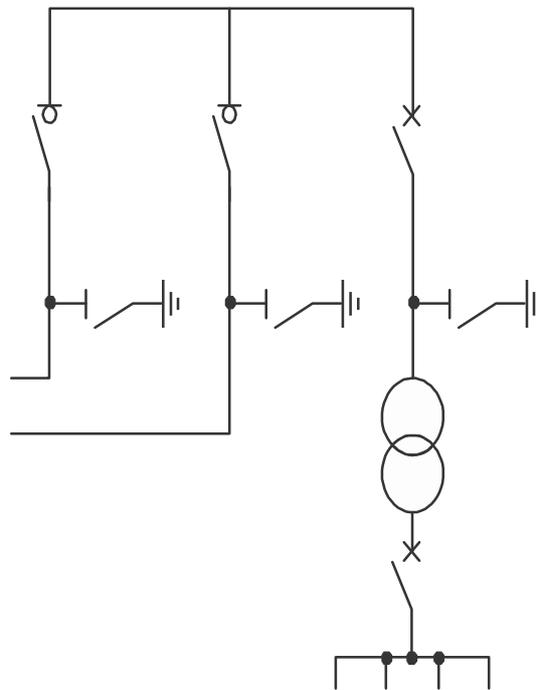


Schéma en coupure d'artère (deux alimentations)

II-3 ARMOIRE GENERAL BASSE TENSION [9]

L'armoire de distribution de type TGBT (Tableau Général Basse Tension) assure la fonction de distribution et de gestion d'énergie.

Le TGBT est représenté par un système de coffrets et d'armoires. Ces coffrets et armoires sont entièrement composables et doivent respecter la norme IEC EN 60 439-1.

On y trouve les organes de protection, les appareils de mesure et de supervision ainsi que des modules de commande, de communication, etc. Les coffrets et armoires constituent l'enveloppe du TGBT. Le Tableau Général Basse Tension est le point central de la distribution électrique.

- **La mesure des grandeurs électriques dans le TGBT**

Il existe de multiples solutions pour mesurer et afficher les principales grandeurs d'une installation électrique. Ces mesures portent sur les courants et tensions par phase, les tensions composées, la fréquence, le facteur de puissance, la puissance instantanée active, réactive et apparente.

Ces organes de mesures du TGBT doivent être en conformité avec les normes . Ces différents organes de mesures électriques sont prévus en tête de l'installation et en tête de chaque armoire de distribution électrique.

- **Le TGBT et les équipements de protection**

Disjoncteurs

Le disjoncteur est un appareil électromagnétique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales, mais surtout dans celles dites «anormales», c'est-à-dire les surcharges et les courts-circuits. Il s'ouvre alors automatiquement. Après élimination du défaut, il suffit de le réarmer par une action manuelle sur la manette prévue à cet effet. Le disjoncteur assure la protection selon 2 principes : thermique et magnétique.

Il existe trois types de disjoncteurs : magnétique, thermique et magnétothermique. Le disjoncteur magnétique assure la protection contre les courts-circuits. Le disjoncteur thermique assure la protection contre les surcharges. Tandis que le disjoncteur magnétothermique cumule les deux fonctions et assure la protection contre les courts-circuits et contre les surcharges

II-3-2-TABLEAU DE DISTRIBUTION ELECTRIQUE (TD) [7]

Poser un tableau de distribution électrique n'est pas un chantier de tout repos. Il faut respecter chaque étape de réalisation selon les normes en vigueur et les bases de l'électricité. L'étape la plus délicate des travaux reste l'installation électrique de tous les circuits nécessaires à votre électricité domestique, notamment pour effectuer leur raccordement.

Le tableau de distribution électrique, ou tableau de répartition, est un matériel électrique indispensable à toute installation électrique. En effet, c'est par lui que sont alimentés les lumières, les petits et gros appareils électroménagers, les chauffages, les prises, les interrupteurs et tant d'autres...

Les appareils modulaires qui constituent le tableau contribuent à l'alimentation en énergie. Il est important qu'on sache combien de modules nous seront nécessaires avant de débiter la pose du tableau. Il est préférable d'avoir un tableau surdimensionné afin d'avoir la place requise si nous souhaitons, par la suite, intégrer de nouveaux modules

Dans notre cas pratique il est appelé « ARMOIRE PIED DE MAT »

II-4 DISJONCTEURS

En tête de cortège, et directement placés sous le disjoncteur général de branchement de 500 mA, se trouvent les disjoncteurs différentiels de haute sensibilité de 30 mA. En général, ils sont au nombre de deux à moins d'avoir une petite surface. Protégeant à la fois les personnes et les circuits, ils permettent de dévier les courants de fuite et de couper le circuit concerné par une surchauffe ou un choc électrique.

Suivent ensuite les disjoncteurs divisionnaires ou coupe-circuits qui ont pour rôle de protéger les circuits à raison de un disjoncteur par circuit. Ces éléments sont à la fois efficaces et pratiques : la plupart des modèles sont des modèles magnétothermiques et un réarmement suffit après qu'ils se soient déclenchés pour indiquer quel circuit est concerné par la panne électrique. Leur calibrage va de 16 à 38 A selon le type de circuit à protéger.

II-5 LES PROJECTEURS :

Qu'il s'agisse de surface à vocation industrielle ou commerciale de structure architecturale majestueuse ou de vaste espace décoratif, un bon éclairage requiert des projecteurs très performants des points de vue de la puissance, de la qualité photométrique, de la précision des faisceaux.

II-5-1 LES CARRACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PROJECTEURS ET DES LAMPES

II-5-1- LES CARACTERISTIQUES DES PROJECTEURS :

projecteurs utilisées dans notre projet à savoir le **stade « D'EL EULMA » SETIF** sont :

- Indice de protection : IP 65 ; classe 1.
- Corps en fonderie aluminium moulé sous haute pression, anticorrosion.
- Finition aluminium brut.
- Vitre en verre trempé chimiquement de 1.6mm d'épaisseur avec grillage pour prévenir la chute de morceau de verre et céramique de 3mm d'épaisseur sur la version illumination(UP)
- Optique de grande pureté(99%).

II-5-2-LES LAMPES A IODURE METALLIQUE

De type : Master MHN-SE (short arc) 2000W ».

Les lampes aux halogénures métalliques sont des lampes à arc de taille moyenne avec cycle halogène. Elles sont relativement similaires aux lampes à vapeur de mercure mais les éléments constitutifs sont différents. L'ampoule est composée d'une sphère (le bulbe) en quartz résistant à la pression (35 bars) et à température et de forte épaisseur (jusqu'à 5 mm) associée à deux longues électrodes[13]

Ces lampes très techniques et très puissantes, restituent 3 à 4 fois plus de lumière qu'une lampe halogène de puissance identique, avec une durée de vie beaucoup plus importante. Très souvent utilisées pour l'éclairage de magasins et l'éclairage public et les projecteurs des stades.

II-5-3-les principale caractéristiques de la lampe :

*Lampes à iodure métallique

Elles sont beaucoup plus économique, car elles ont un rendement 2 fois supérieur et durent aussi longtemps voir plus. Le temps de leur ré allumage à chaud est de 8secondes.

Rendu des couleurs(R _a)	Temperature des couleurs(K)	Coordonée chromatique(X)	Coordonnées chromatique (Y)
90	5600	0.320	0.355

Projecteurs au niveau des tribunes :

Flux lumineux E*S=	.nombre de lampes :FLUX total/Flux d'1lampe	Efficacité lumineuse : (Lumen/watt)	durée de vie moyenne	Courant de lampe nominal	Tension lampe nominal	Tension d'alimentation	puissance
202000 (lm)	36360000/202000 =180 lampes.	101(lm/W)	5000h	11.6(A)	205 (V)	400(V)	2000W

* Lampes à iodure métallique.

*Puissance minimale requise : 1kw-Flux :100 000 Lumen minimum.

Remarque :

L'installation doit être munie d'un système permettant le réamorçage instantané d'une partie des projecteurs permettant le maintien sans aucune interruption, de 800 Lux minimum de l'éclairage , en cas de coupure de courant

II-9-3-Ballasts pour lampes iodure métallique[14]

Les ballasts sont nécessaires pour le fonctionnement des lampes à décharge. Ils permettent de stabiliser le point de travail de la lampe et influent sur sa puissance et son courant, ainsi que sur sa durée de vie.

Pour des lampes HMI , l'avantage d'un balast électronique est le redémarrage à chaud de l'ampoule

CHAPITRE III
DIMENSIONNEMENT
&
SCHÉMA UNIFILAIRE

III-1 TRANSFORMATEUR

Pour choisir un transformateur il faut au préalable choisir un mode de distribution dans notre cas il est radial.

Puis évaluer la puissance des récepteurs, et il faut tenir compte que notre installation comprend un seul transformateur ;il serait prudent de surdimensionner la puissance calculée a 25% et prévoir une extension future ; facteur de puissance doit être ramené coté entrée réseau , à 0.87 pour éviter les pénalités appliquées par le distributeur d'énergie 'SONEL GAZ'.

III-1-2-BILAN DE PUISSANCE :

On a 4 mâts, dont chacun porte 45 projecteurs et chaque projecteurs a une puissance de 2kW. ce dernier est composé d'un ballaste dont la puissance est de 20% de celle du projecteur.

* la puissance du ballaste : $2000W * 20\% = 400W$.

III-1-3 La puissance totale au niveau des 4 mâts est :

$$P = 4 * 45 * (2000 + 400) = 432kW.$$

P=432 kW

REMARQUE :

Le produit des facteurs de correction, d'utilisation et de simultanéité est pris égale à 1 car nous avons calculé la puissance max .

III-1-4 Calcul de la puissance du transformateur:

$$S = \sqrt{3} * U * I.$$

$$P = S * \cos\varphi \rightarrow$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$$

D'où la puissance appelée est de :

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}$$

S_{calc}=496.552kVA

$$S_{cal} = \frac{432000}{0.87} = 496.552 \text{ kVA.}$$

III-1-5 Choix final de la puissance du transformateur :

Surdimensionné le transformateur entraîne des investissements excessif et des pertes à vide inutile mais ; la réduction des pertes en charge peut être très importante ; et sous -dimensionner le transformateur entraîne un fonctionnement quasis permanent

On choisit en principe la tension(S) directement supérieur a la puissance calculée déterminée précédemment en tenant compte d'une éventuelle extension ou augmentation du nombre de récepteurs le facteur de prévision d'extension (K_e) peut aller de 20 jusqu'a 25% de l'installation sera pris en compte ; d'où la puissance normalisée du transformateur est :

S=630 kVA

$$(K_e = \frac{630-496,552}{630} * 100 = 21.18 \% ; K_e \approx 20 - 25\%.)$$

III-1-4 Calcul de la valeur du courant de court-circuit à la sortie du transformateur :

$$I_{cc3} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{cc}} = \frac{380}{\sqrt{3} * \sqrt{(Ra+Rtr)^2 + (Xa+Xtr)^2}} = \frac{380}{\sqrt{3} * \sqrt{(0+3.3)^2 + (0.7+8.69)^2}} = 22.04 \text{ kA}$$

I _{cc} tri (kA)	22.04 kA
--------------------------	----------

III-1-6 Calibre du disjoncteur de tête

D'où Le courant de pouvoir de coupure est de 30 kv d'où le calibre du disjoncteur :

Alors les caractéristiques du disjoncteur de tête du transformateur est :

Courant assigné (A)	1250
Type de disjoncteur	NS 1250 N

III-1-5 LES CARRACTERISTIQUE S DE FABRICATION D'UN TRANSFORMATEUR 630KVA :

Les transformateurs d'Electro-industriels (ex ENEL) sont conformes en tout point aux recommandations de la CEI 76, ainsi que de la VDE 0532 .Ils sont triphasés, de type extérieur et intérieur, respirant avec conservateur d'huile, à refroidissement naturel ONAN, à deux enroulements MT et BT en cuivre de forme cylindrique, disposés concentriquement.

Service continu, fréquence à 50Hz et à remplissage sous vide d'huile minérale

(selon la CEI296,classe ...).

NORMES :

normes d'essais :CEI76 ; VDE0532.

Normes de construction : DIN 42503 ; 42511 et autres.

PUISSANCE ASSIGNEES EN kVA :

50 ;100 ;160 ;250 ;315 ;400 ;500 ;630 ;800 ;1000 ;1250 ;1600.

Les puissances soulignées sont non préférentielles.

Leurs execution spécifique est réalisable sur demande

TENSIONS ASSIGNEES :

Haute tension : les tensions du réseaux retenues sont :

- (5,5-10kVA) 10N et (30kV) 30N.
- Basse tension : 400V à vide entre phase
et 231 V entre phase et neutre.

ISOLANTS :

Les isolants utilisés se composent de papier à cable, de presspahn et de bois comprimé répondant aux exigences de normes DIN.

Toute trace d'humidité est éliminée du matériau isolant par un séchage soigneux, à différents niveaux.

NIVEAU D'ISOLEMENT :

*tension la plus élevée du réseau kV : 30N.

*tension d'essai a fréquence industrielle :70Kv.

*choc onde standard :170 Kv

Les isolants utilisés se composent de papier à câble, de presspahn de bois comprimé répondant au exigence des norme DIN.Toute trace d'humidité est illiminée du materieux isolant par un séchage soigneux à différents niveau.

REGLAGE :

- *Plage standard :(+/-) 5%.
- *Par commutateur manœuvrable hors tension
- * L plage +-2*2.5 est réalisable sur demande.

COUPLAGE :

- *serie 10N et 30N
- Yzn 11 de 50 à 160 kVA
- Dyn11 de 250 à 1600 kVA.

EQUIPEMENT STANDARD :

- .3traversées HT en porcelaine.
- .4 traversées BT en porcelaine.
- .4 galets de roulement orientables.
- .un dispositif de vidange DIN 42511.
- .1 poche thermometre.
- .2 anneaux de levage et décufrage.
- .2 emplacements de mise à la terre sur couvercles et sur la cuve
- .1 indicateur de niveau d'huile DIN 42569.
- .1 assécheur d'air DIN 42567.
- .une plaque signalétique.
- .4 anneaux d'encrages sous couvercle.
- .Peinture standard , teint RAL 7033.

EQUIPEMENT EN OPTION DE PROTECTION :

- .Relais bucholz à double contact, alarme et declanchement DIN 42566.
- .Thermomètre indicateur ou à contacte.

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Puissance assignée (kVA)	Pertes à vide (W)	Pertes dues à la charges(W)	Tension de court circuit(%)	Niveau de bruit(db)
630	1250	9300	6	51.0

III-2 CALCUL DU TGBT ET ARMOIRES DE DISTRIBUTION

Dans notre sujet on a un seul tableau général basse tension (TGBT), et quatre départs vers les armoires de distribution qu'on appelle aussi armoire pied de mats, dont chacun alimente 45 récepteurs ;et chaque récepteur a une puissance de 24kW.

Chaque armoire pied de mât à trois départs et chaque départ contient 15 récepteurs (projecteurs).

III-2-1 LA PUISSANCE D'UN DEPART DE L'ARMOIRE PIED DE MAT EST :

- $P_{di} = 15 * 2400W = 36000W.$
 $I_{di} = \frac{36000}{\sqrt{3} * 380 * 0.87} = 62.86A$

D'où le calibre du disjoncteur des 45 projecteurs est de 63A

III-2-2 LA PUISSANCE CONSOMMEE PAR L'ARMOIRE PIED DE MAT 1:

$$P_{AR1} = 3 * 36000W = 108000 = 108kW.$$

III-2-3 LE COURANT ABSORBE AU NIVEAU D'UNE ARMOIRE PIED DE MAT EST :

$$I_{AR1} = \frac{108000}{\sqrt{3} * 380 * 0.87} = 188.608 A.$$

LA PUISSANCE TOTALE CONSOMMEE AU NIVEAU DU TGBT ($P_{TOT-TGBT}$)

$$P_{TGBT} = P_{d1} + P_{d2} + P_{d3} + P_{d4}$$

$$P_{TOT-TGBT} = 4 * 108kW = 432kW.$$

Le courant :

$$I_{TGBT} = \frac{P_{tot-tgbt}}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi}$$

$$I_{TGBT} = \frac{432000}{\sqrt{3} * 380 * 0.87} = 754.43 A$$

III-2-4 Choix du calibre de l'appareil de protection :

*le disjoncteur de tete du TGBt est de calibre de 1250 A ; pour assurer une éventuelle extension de plus que c'est un disjoncteur magnétothermique réglable .

III-3 CALCUL DES SECTIONS DE TENSIONS DIFFERENTES LONGUEURS IMPOSEES PAR LES CHUTES:

Introduction :

Dans les réseaux de distribution, il est impératif de maintenir la tension aussi constante que possible, cette variation, en occurrence les chutes de tension sont très gênantes pour les utilisateurs et l'exploitation et encor plus pour un éclairage nocturne d'une aire de jeu, c'est pour cela que l'on

Cherche à calculer les différentes chutes de tension de différentes longueurs de câbles et bien choisir les section à utilisées de telle sorte avoir une chute de tension max inférieur ou égale aux

poste de livraison ou poste de transformation à partir d'un réseau HT(ce qui est bien notre cas) or, en pratique on limite la chute de tension à 2.5 ou 3% tout comme pour un branchement a basse tension a partir du réseau de distribution publique.

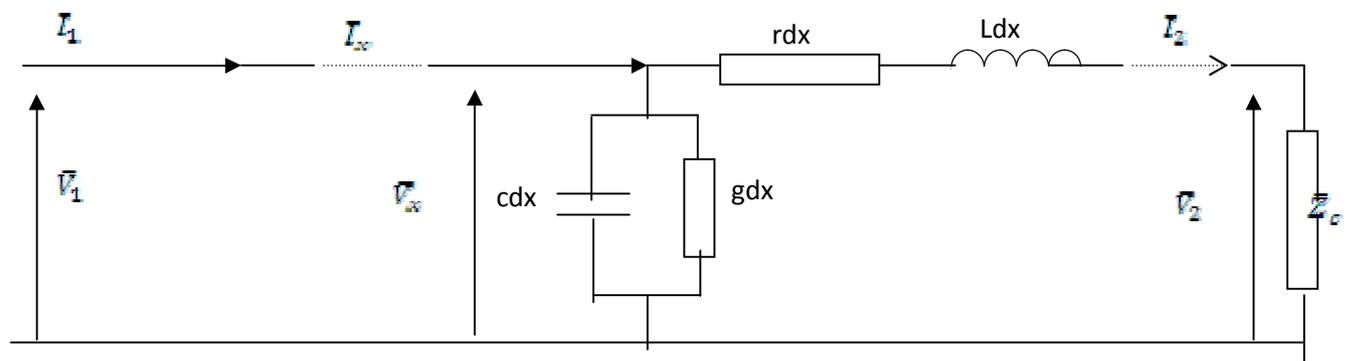
$\Delta U=2.5\%$. ; fixée jusqu'au dernier récepteur le plus lointain.

III-2-1-1- DIFFERENTES METHODES DE CALCULE DE CHUTES DE TENSIONS [9]

1- Méthode générale (théorie des quadripôles) :

. Ligne à constantes réparties :

On considère le quadripôle suivant de la fig I.1 où V_1 , I_1 et V_2 , I_2 sont les tensions simples et les courants aux extrémités d'une ligne.



: Fig 1 Schéma équivalent d'un quadripôle

r : résistance linéique [Ω / Km]
 L : inductance linéique [H / Km]
 c : capacité linéique [F / Km]
 g : conductance linéique [$1/\Omega Km$]

\bar{V}_1, \bar{I}_1 sont liés à \bar{V}_2, \bar{I}_2 par les équations linéaires du quadripôle (Fig .1) :

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_2 \text{Ch. } \bar{n} \cdot \bar{l} + \bar{Z}_c \cdot \bar{I}_2 \cdot \text{Sh. } \bar{n} \cdot \bar{l} \\ \bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_2}{\bar{Z}_c} \text{Sh. } \bar{n} \cdot \bar{l} + \bar{I}_2 \cdot \text{Ch. } \bar{n} \cdot \bar{l} \end{cases}$$

Inversement, nous avons :

$$\begin{cases} \bar{V}_2 = \bar{V}_1 \text{Ch. } \bar{n} \cdot \bar{l} - \bar{Z}_c \cdot \bar{I}_1 \cdot \text{Sh. } \bar{n} \cdot \bar{l} \\ \bar{I}_2 = \frac{\bar{V}_1}{\bar{Z}_c} \text{Sh. } \bar{n} \cdot \bar{l} + \bar{I}_1 \cdot \text{Ch. } \bar{n} \cdot \bar{l} \end{cases}$$

\bar{Z}_c : Impédance caractéristique de la ligne.
 n : constante de propagation.
 l : longueur de la ligne.

$$\begin{cases} \bar{Z}_c = \sqrt{\frac{\bar{Z}_t}{\bar{Y}_t}} \\ \bar{Z}_t = (R + jL\omega) l & \text{Impédance totale.} \\ \bar{Y}_t = (G + jC\omega) l & \text{Admittance totale.} \\ n \bar{l} = \sqrt{\bar{Z}_t \bar{Y}_t} \end{cases}$$

En faisant le développement limité des fonctions hyperboliques, nous aurons

$$\begin{cases} \text{Ch}(\bar{n}l) = 1 + \frac{\bar{Z}_t \bar{Y}_t}{2} + \frac{\bar{Z}_t^2 \bar{Y}_t^2}{24} + \dots \\ \bar{Z}_c \text{Sh}(\bar{n}l) = \bar{Z}_t \left(1 + \frac{\bar{Z}_t \bar{Y}_t}{6} + \frac{\bar{Z}_t^2 \bar{Y}_t^2}{120} + \dots \right) \\ \frac{1}{\bar{Z}_c} \text{Sh}(\bar{n}l) = \bar{Y}_t \left(1 + \frac{\bar{Z}_t \bar{Y}_t}{6} + \frac{\bar{Z}_t^2 \bar{Y}_t^2}{120} + \dots \right) \end{cases}$$

• Pour ($l > 600$ km) lignes longues : on prend trois termes du développement limité.

- Pour ($200\text{km} < l < 1000\text{km}$) lignes moyennes : on prend deux termes du développement limité.
- Pour ($l < 200\text{km}$) Lignes courtes : on prend un seul terme du développement limité.

- Approximation de la ligne par des impédances localisées :

Pour une ligne courte ($l < 200\text{km}$), elle peut être représentée par un schéma monophasé en π en T avec $L' = L/l$, $R' = r.l$ et $C' = C.l$.

2.1 Schéma en π :

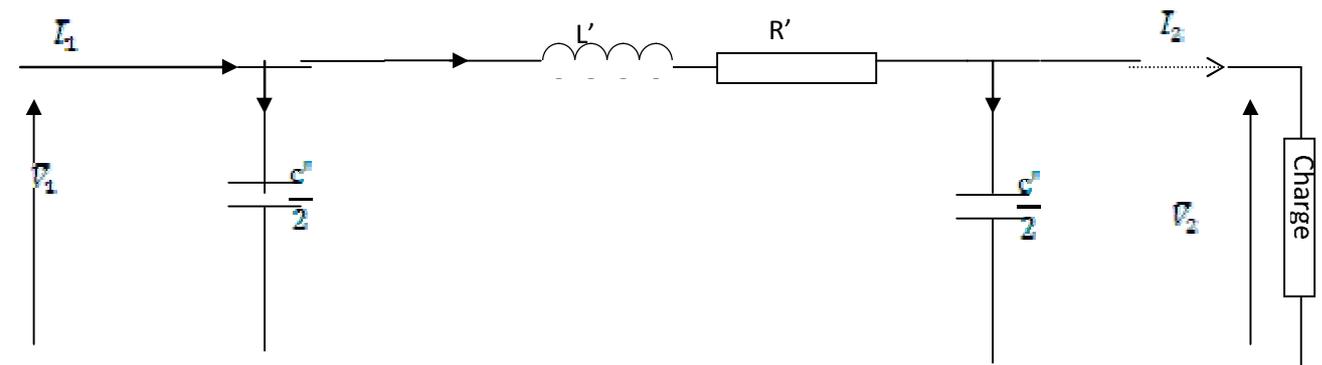


Fig.2 Schéma en π d'une ligne courte

Considérons le schéma en π de la figure III.2, on aura les équations des trois mailles suivantes

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \frac{2}{jC'\omega} \bar{I}_1 \omega \frac{2}{j'\omega} \bar{V} \\ 0 = \left(R' + jL'\omega + \frac{4}{jC'\omega} \right) \bar{I} - \frac{2}{jC'\omega} \bar{I}_1 - \frac{2}{jC'\omega} \bar{I}_2 \\ \bar{V}_2 = -\frac{2}{jC'\omega} \bar{I}_2 - \frac{2}{jC'\omega} \bar{I} \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = \bar{V}_2 \left(1 - \frac{L'C'\omega^2}{2} + j \frac{R'C'\omega}{2} \right) + \bar{I}_2 (R' + jL'\omega) \\ \bar{I}_1 = \bar{I}_2 \left(1 - \frac{L'C'\omega^2}{2} + j \frac{R'C'\omega}{2} \right) + \bar{V}_2 \left(-\frac{R'C'\omega^2}{4} + jC'\omega - j \frac{L'C'^2\omega^2}{4} \right) \end{cases}$$

Si les termes en $L'C'\omega^2$ sont négligés devant l'unité, il reste :

$$\begin{cases} \bar{V}_1 \approx \bar{V}_2 + \bar{I}_2 (R' + jL'\omega) \\ \bar{I}_1 \approx \bar{I}_2 + jC'\omega \bar{V}_2 \end{cases}$$

On obtient de la même manière \bar{V}_2 et \bar{I}_2 en fonction de \bar{V}_2 et \bar{I}_2 :

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_1 \left(1 - \frac{L'C'\omega^2}{2} + j \frac{R'C'\omega}{2} \right) + \bar{I}_1 (R' + jL'\omega)$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left(1 - \frac{L'C'\omega^2}{2} + j \frac{R'C'\omega}{2} \right) + \bar{V}_1 \left(-\frac{R'C'\omega^2}{4} + jC'\omega - j \frac{L'C'^2\omega^2}{4} \right)$$

Si les termes en $L'C'\omega^2$ et $R'C'\omega$ sont négligés devant l'unité, il reste:

$$\begin{cases} \bar{V}_2 = \bar{V}_1 + \bar{I}_1 (R' + jL'\omega) \\ \bar{I}_2 = \bar{I}_1 + jC'\omega \bar{V}_1 \end{cases}$$

Diagramme d'une ligne courte schéma en π

Nous prendrons comme origine des phases \bar{V}_2 . \square_1 : déphasage entre \bar{V}_1 et \bar{I}_1 ; \square_2 déphasage entre \bar{I}_1 et \bar{I}_2 . α : déphasage entre \bar{I}_2 et \bar{V}_2 ; δ : déphasage entre \bar{I}_1 et \bar{V}_2 .

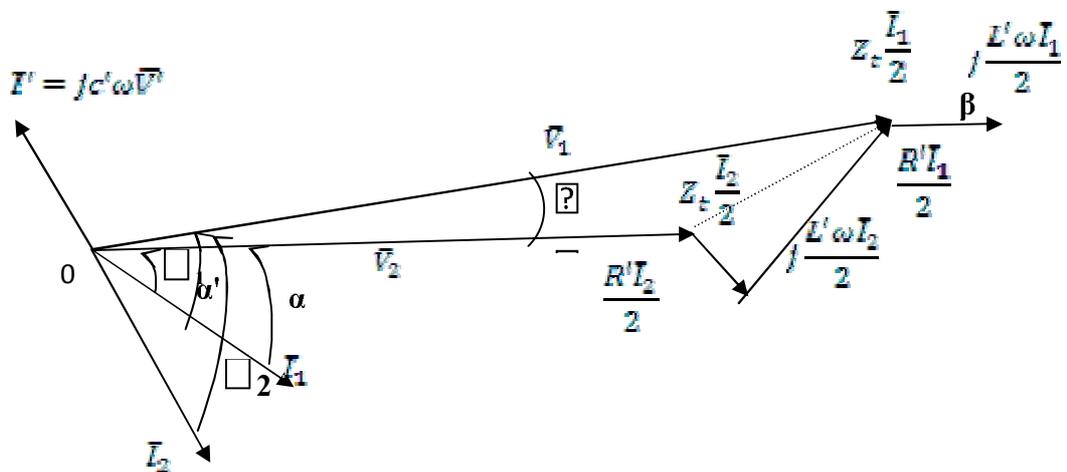


Fig.3 Diagramme d'une ligne courte (Schéma en π).

Le diagramme de la figure .3 peut être remplacé par les équations suivantes

$$\begin{cases} I_1^{-L\alpha} = I_2^{-L\varphi_2} + \frac{C'}{2} \omega \cdot V_2^{-L\frac{\pi}{2}} \\ V_1^{-L\delta-\varphi_2} = V_2^{-L0} + Z_t \cdot I_1^{-L\beta+\alpha} \\ I_1^{-L\delta} = I_1^{-L\alpha} + \frac{C'}{2} \omega \cdot V_1^{-L\frac{\pi}{2}\pm\delta-\varphi_1} \end{cases}$$

2.2. Schéma en T

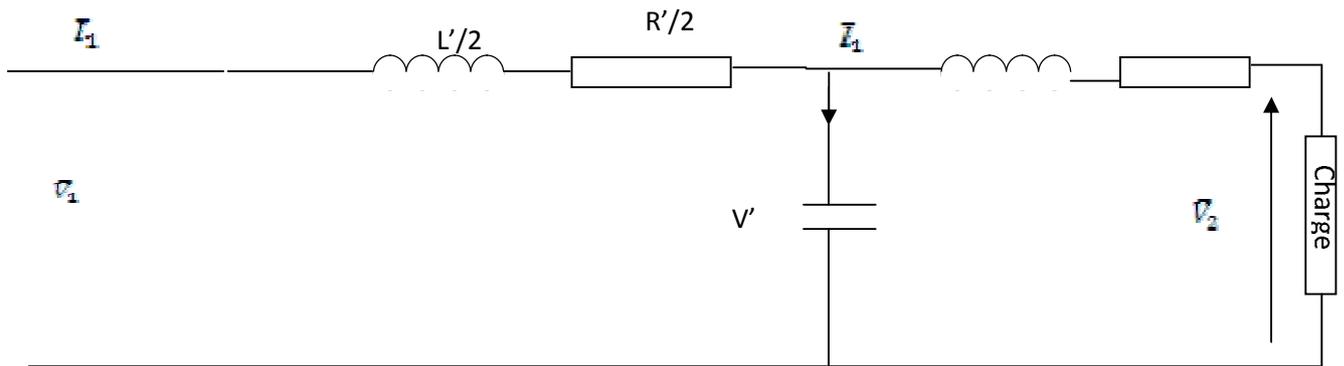


Fig.4. Schéma en T d'une ligne courte

Avec :

$$\beta = \arctg \frac{L'\omega}{R'}$$

$$Z_t = R' + jL'\omega$$

- Cas des lignes de longueurs inférieures à 20 Km (très courtes)

Pour cette catégorie de lignes à basse ou moyenne tension. On ne considère que les fuites latérales sont nulles c'est à dire $X_t = 0$. Dans ce cas, on ne prend que les termes du développement limité des fonctions hyperboliques.

$$\text{Ch}(nl) = 1.$$

$$ZC \text{ Sh}(nl) = Zt.$$

$$\frac{1}{ZC} \text{ Sh}(nl) = 0$$

Nous aurons:

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_1 + \bar{Z}_c \bar{I}_1 = \bar{V}_1 + (R' + jL'\omega) \bar{I}_1$$

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

Tracé du diagramme

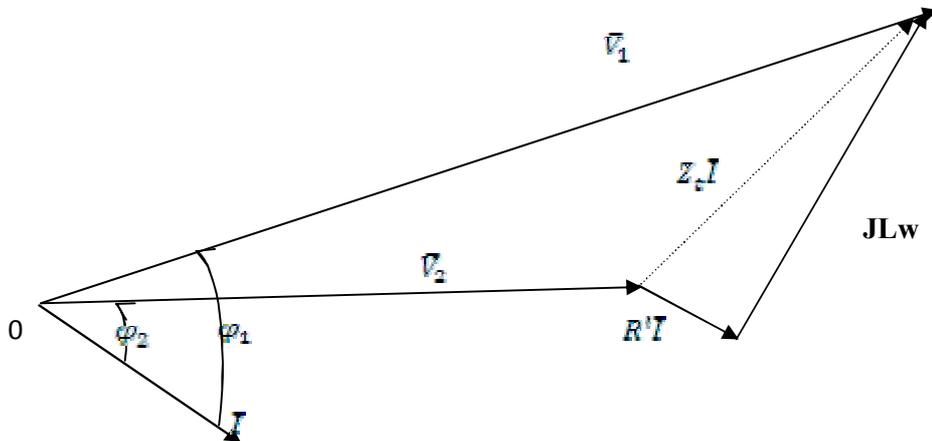


Fig .6 Diagramme d'une ligne sans capacité.

.Expression de la chute de tension :

La chute de tension est exprimée comme suit

$$\Delta \bar{V} = \bar{V}_1 - \bar{V}_2 \text{ Avec}$$

\bar{V}_1 : Tension à l'entrée.

\bar{V}_2 : Tension à l'arrivée.

Dans le cas le plus fréquent, lorsque le déphasage de \bar{V}_2 par rapport à \bar{V}_1 est modéré, on peut remplacer \bar{V}_1 par sa projection sur l'axe portant \bar{V}_2 (fig I.6). On aura la chute de tension comme suit :

$$\Delta \bar{V} = |\bar{V}_1 - \bar{V}_2| = R'I \cos \varphi_2 + L'\omega I \sin \varphi_2$$

Chute de tension en phase et en quadrature :

Soit une ligne à capacité et à conductance latérales négligeables de résistance R et d'inductance L. La tension à l'arrivée est \bar{V}_2 et au départ \bar{V}_1 (fig.7).

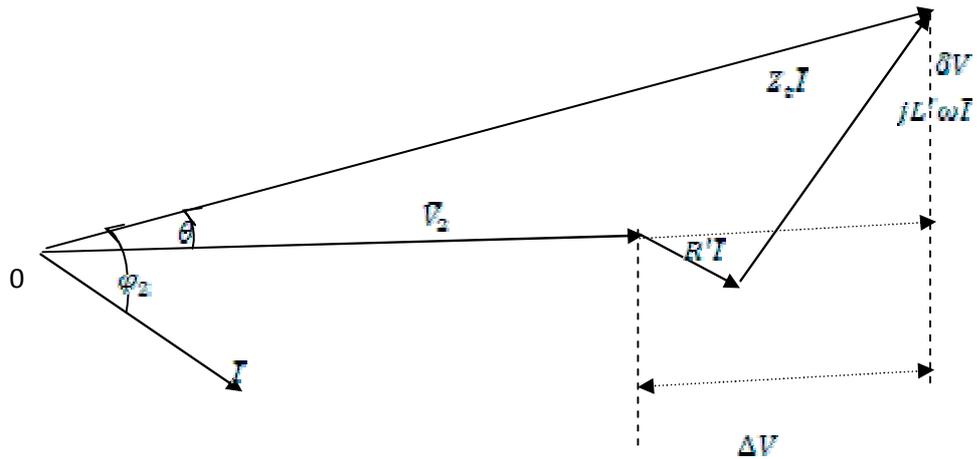


Fig .7 Chute de tension en phase et en quadrature.

Nous avons :

$\Delta \bar{V} = \bar{V}_1 - \bar{V}_2$: composante de la chute de tension en phase avec V_2 .

$$\Delta \bar{V} = R'I \cos \varphi_2 + X'I \sin \varphi_2$$

$\delta \bar{V} = R'I \cos \varphi_2 - L'\omega I \sin \varphi_2$: Composante de la chute de tension en quadrature avec \bar{V}_2 :

$\Delta \bar{V}$: Est due au transit de la puissance réactive sur la ligne.

$\delta \bar{V}$: est due au transit de la puissance active sur la ligne.

$$\tan \theta = \frac{\Delta V}{V_2 + \Delta V} = \frac{X'I \cos \varphi_2 - R'I \sin \varphi_2}{V_2 + R'I \cos \varphi_2 + X'I \cos \varphi_2}$$

Cas des câbles souterrains :

En souterrain, nous avons une capacité importante, ce qui crée un courant capacitif qui modifie la valeur de la chute de tension.

r: Résistance linéique [Ω / km].

x : Réactance linéique [Ω / km].

C : Capacité linéique [F / km].

\bar{V}_d : Tension simple à l'entrée de la ligne.

\bar{V}_a : Tension simple aux bornes de la charge.

\bar{V}_c : Tension simple aux bornes de la capacité.

On déduit les équations suivantes :

$$\begin{cases} \bar{V}_c = \bar{V}_a + l \cdot \left(\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right) \bar{I}_a \\ \bar{V}_d = \bar{V}_c + l \cdot \left(\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right) \bar{I}_d \\ \bar{I}_d = \bar{I}_c + \bar{I}_a \end{cases}$$

Nous aurons le diagramme suivant

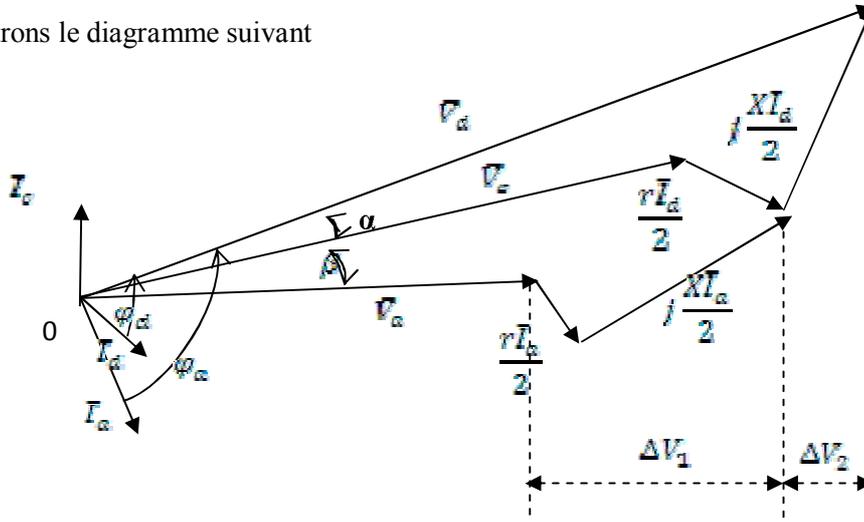


Fig.8 Diagramme d'une ligne courte en T.

On déduit de la figure -8, les équations suivantes :

Avec : $\bar{V}_c = j.l.c.\omega \bar{V}_c$

Remarque : δa et δd sont des angles négatifs.

$$\begin{cases} \bar{V}_c^{L\beta} = \bar{V}_a^{L0} + l \cdot \left(\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right) \bar{I}_a^{La} \\ \bar{V}_d^{La+\beta} = \bar{V}_c^{L\beta} + l \cdot \left(\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right) \bar{I}_d^{L\delta a - (a+\beta)} \\ \bar{I}_d^{L\delta a - (a+\beta)} = \bar{I}_c^{L\frac{\pi}{2} + \beta} + \bar{I}_a^{L\delta a} \end{cases}$$

On tire les équations suivantes :

$$\begin{cases} \bar{V}_c = \bar{V}_a + l \cdot \left(\frac{r}{2} + j \frac{x}{2} \right) [I_a \cos \varphi_a + j I_a \sin \varphi_a] \\ \bar{V}_c = \left[\bar{V}_a + l \cdot \frac{r}{2} I_a \cos \varphi_a - l \cdot \frac{x}{2} I_a \sin \varphi_a \right] + j \left[l \frac{x}{2} I_a \cos \varphi_a + l \frac{r}{2} I_a \sin \varphi_a \right] \end{cases}$$

Le module de V_c sera

$$|\bar{V}|_c = \sqrt{\left(\bar{V}_a + l \cdot \frac{r}{2} I_a \cos \varphi_a - l \cdot \frac{x}{2} I_a \sin \varphi_a \right)^2 + \left(l \frac{x}{2} I_a \cos \varphi_a + l \frac{r}{2} I_a \sin \varphi_a \right)^2}$$

Le déphasage de V_c est donné par :

$$\beta = \arctg \frac{l \frac{x}{2} I_a \cos \varphi_a + l \frac{r}{2} I_a \sin \varphi_a}{\bar{V}_a + l \cdot \frac{r}{2} I_a \cos \varphi_a - l \cdot \frac{x}{2} I_a \sin \varphi_a}$$

Le module de I_d :

$$\bar{I}_d^{L\delta d - (a+\beta)} = \bar{I}_c^{L\frac{\pi}{2} + \beta} + \bar{I}_a^{L\delta a}$$

En négligeant l'angle α , on obtient :

$$\bar{I}_d^{L\delta d - (a+\beta)} = \bar{I}_c^{L\frac{\pi}{2} + \beta} + \bar{I}_a^{L\delta a} = j c \omega \bar{V}_c^{L\beta} + \bar{I}_a^{L\delta a}$$

$$\begin{aligned} &= j l c \omega [V_c \cos \beta + j V_c \sin \beta] + [I_a \cos \varphi_a + j I_a \sin \varphi_a] \\ &= (I_a \cos \varphi_a - l \cdot c \cdot \omega \cdot V_c \sin \beta)^2 + j (I_a \sin \varphi_a + l \cdot c \cdot \omega \cdot V_c \cos \beta)^2 \end{aligned}$$

Son module est donné par :

$$|\bar{I}_a| = \sqrt{(I_a \cos \varphi_a - l \cdot c \cdot \omega \cdot V_c \sin \beta)^2 + (I_a \sin \varphi_a + l \cdot c \cdot \omega \cdot V_c \cos \beta)^2}$$

Le déphasage δd est donné par :

$$\delta d = \arctg \frac{I_a \sin \varphi_a + l \cdot c \cdot \omega \cdot V_c \cos \beta^2}{I_a \cos \varphi_a - l \cdot c \cdot \omega \cdot V_c \sin \beta}$$

La chute de tension en monophasée est donnée par :

$$\Delta \bar{V} = \Delta \bar{V}_1 + \Delta \bar{V}_2$$

Avec :

$$\begin{cases} \Delta \bar{V}_1 = l \cdot \frac{r}{2} I_a \cos \varphi_a + j \frac{x}{2} I_a \sin \varphi_a \\ \Delta \bar{V}_2 = l \cdot \frac{r}{2} I_d \cos \varphi_d + \frac{x}{2} I_d \sin \varphi_d \end{cases}$$

Donc :

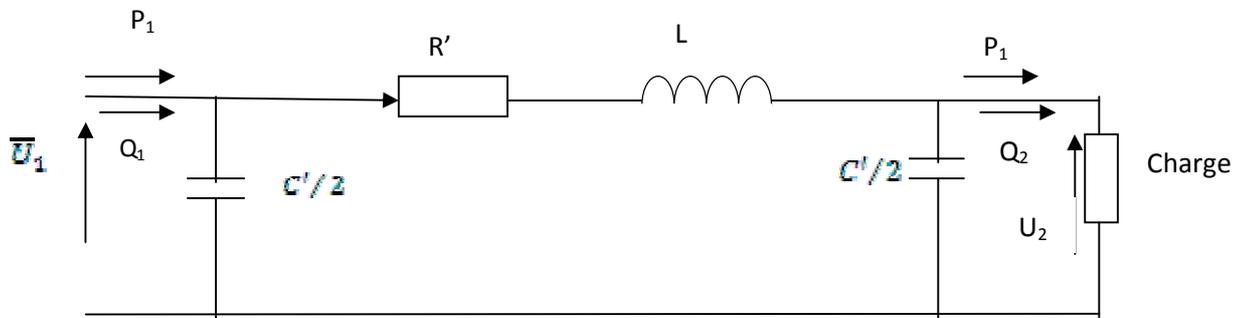
$$\Delta \bar{V} = l \cdot I_a \left(\frac{r}{2} \cos \varphi_a + \frac{x}{2} \sin \varphi_a \right) + l I_d \cdot \left(\frac{r}{2} \cos \varphi_d + \frac{x}{2} \sin \varphi_d \right)$$

En triphasé la chute de tension relative est :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot 100 \left[(I_a \cos \varphi_a + I_d \cos \varphi_d) \frac{x}{2} + (I_a \sin \varphi_a + I_d \sin \varphi_d) \frac{r}{2} \right]}{U} \%$$

2- Méthode de séparation de puissance active et réactive :

Le calcul des chutes de tension en utilisant les nombres complexes est parfois difficile, alors on adopte une méthode approchée, mais plus simple. Cette méthode est celle de séparation des puissances active et réactive. C'est une méthode utile dans le cas où la longueur de la ligne est de quelques dizaines de kilomètres.



3- Méthode par approximation successive :

Soit P_2 et Q_2 les puissances triphasées active et réactive à l'extrémité réceptrice(2) .

(Fig. I-24). Soit \bar{U}_2 la tension composée de la ligne en (2) et ϕ_2 le déphasage entre \bar{U}_2 et \bar{I}_2 on a :

$$\begin{cases} P_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2 \\ Q_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \sin \varphi_2 \end{cases}$$

La puissance apparente à l'extrémité(2) est :

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{3} U_2 I_2$$

Les puissances à l'extrémité « émettrice (1) sont alors :

$$P_1 = P_2 + p$$

$$Q_1 = Q_2 - q'_2 - q_1 + q$$

$$p = R' (P_2^2 + (Q_2 - q'_2)^2) \frac{1}{U_2^2} \text{ Pertes actives}$$

$$\left. \begin{aligned} q'_2 &= \frac{C'\omega}{2} U_2^2 \\ q_1 &= \frac{C'\omega}{2} U_1^2 \end{aligned} \right\} \text{ Production réactives}$$

$$q = L'\omega \left(\frac{P_2^2 + (Q_2 - q'_2)^2}{U_2^2} \right) \text{ Pertes réactives dans l'inductance.}$$

Comme la tension U_1 est inconnue, on remplace U_1 par U_2 dans l'expression de q'_1 et on calcule P_1, Q_1 puis S_1 .

$$\text{Sachant que } \frac{S_1}{S_2} = \frac{U_1}{U_2}, \text{ on en tire } U_1 = \frac{S_1}{S_2} U_2$$

$$\text{En toute rigueur, on doit écrire } \frac{S_1}{S_2} = \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} \quad (*)$$

L'expression (*) n'est vraie que si la conductance G' est nulle et la capacité négligeable.

En particulier pour les câbles souterrains ou pour les lignes dépassant 200 à 300 km où on considère la capacité et l'inductance, on peut écrire : $\frac{U_1}{U_2} = \frac{S_1 I_1}{S_2 I_2}$

Le courant I_1 est obtenue par la relation suivante :

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 + jC'\omega V_2$$

Si c'est l'état en (1) qu'on connaît on effectue les relations suivantes :

$$P_2 = P_1 - p$$

$$Q_2 = Q_1 + q'_1 + q'_2 - q$$

Avec

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad ,$$

$$Q_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \sin \varphi_1$$

$$P = R' \left(\frac{P_1^2 + (Q_1 + q'_1)^2}{U_1^2} \right) \quad \text{Pertes actives}$$

$$\left. q'_1 = \frac{C'\omega}{2} U_1^2 \right\} \text{ Production réactive dans les capacités}$$

$$q'_2 = \frac{C'\omega}{2} U_2^2$$

$$q = L'\omega \left(\frac{P_1^2 + (Q_1 + q'_1)^2}{U_2^2} \right) \quad \text{Pertes réactives dans l'inductance}$$

On calcule P_1 , Q_1 puis S_1 on remplaçant U_2 par U_1 dans l'expression de q'_2 , puis on tire U_2 par :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{S_2}{S_1} \quad (\text{En supposant comme précédemment } \bar{I}_1 = \bar{I}_2)$$

Remarque : Si on tient compte de la différence entre $l_{\square 1}$ et $l_{\square 2}$ on aura $\frac{U_1}{U_2} = \frac{S_1 I_2}{S_2 I_1}$

Le courant \bar{I}_2 est donné par la relation suivante : $\bar{I}_2 = \bar{I}_1 - jC'\omega \bar{V}_2$

Formules directes :

Dans le cas des lignes dépassant 100 km, la formule précédente nécessite un calcul supplémentaire, on peut alors utiliser la méthode suivante, celle-ci est valable également pour les lignes courtes.

Nous avons déjà établi que :

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_1 \left(1 - \frac{L'C'\omega^2}{2} + j \frac{R'C'\omega}{2} \right) - \bar{I}_1 (R' + jL'\omega)$$

Avec $\bar{I}_1 = I_1 \cos \varphi_1 - jI_1 \sin \varphi_1$.

En module on aura :

$$V_2^2 = \left(V_1 - V_1 \frac{L'C'\omega^2}{2} + RI_1 \cos \varphi_1 - L'\omega I_1 \sin \varphi_1 \right)^2 + \left(\frac{R'C'\omega}{2} V_1 - L'\omega I_1 \cos \varphi_1 + RI_1 \sin \varphi_1 \right)^2$$

En posant :

$$P_1 = 3V_1 \cos \varphi_1 \quad \text{Puissance active triphasé à l'entrée.}$$

$$Q_1 = 3V_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad \text{Puissance réactive triphasé à l'entrée.}$$

$$P_1 = 3R'I_1^2 \quad \text{Pertes actives triphasés.}$$

$$P_1 = 3L'\omega I_1^2 \quad \text{Pertes réactives triphasées}$$

$$q_1 = 3 \frac{C\omega}{2} I_2^2 \quad \text{Perte réactives triphasées}$$

On obtient :

$$U_2 = \sqrt{U^2_2 - R'(2P_1 - p) - L'\omega(2Q_1 + 2q_1 - q_1) + C'\omega(R'^2 + (L'\omega)^2)(Q_1 + \frac{q_1}{2})}$$

De même à partir de l'équation de :

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 \left[1 - \frac{L'C'\omega}{2} + j \frac{R'C'\omega}{2} \right] + \bar{I}_2 [R' + jL'\omega]$$

On obtient :

$$U_1 = \sqrt{U^2_2 - R \left(1 - \frac{L'C'\omega}{2} + p \right) + L'\omega(2Q_2 - 2q_2 + q_2) + C'\omega(R'^2 + (L'\omega)^2) \left(Q_1 + \frac{q_1}{2} \right)}$$

Remarque :

On peut négliger $C'\omega$ pour des longueurs ne dépassant pas 100km.

4- Méthode simplifiée :

La méthode précédant est rigoureuse dans la modélisation adoptée pour la ligne mais elle est complexe ; pour avoir une valeur approchée de la chute de tension dans les lignes, on applique la méthode suivante :

Soit U une valeur moyenne approchée de la tension en ligne (par exemple une tension connue à une extrémité).

$$Q_1 = Q_2 + L'\omega \left(\frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} \right) - C'\omega U^2$$

$$P_1 = P_2 + R' \left(\frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} \right) \approx P_2$$

Pour les lignes à haute tension où les pertes actives sont faibles, cette dernière approximation est très valable.

Inversement on a:

$$Q_2 = Q_1 - L'\omega \left(\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} \right) + C'\omega U^2$$

$$P_1 = P_1 - R' \left(\frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} \right) \approx P_1$$

On calcule ensuite :

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

$$P_m = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Avec P_m , Q_m valeurs moyennes respectivement des puissances actives et réactives le long de la ligne ,
d'où la relation de la chute de tension relative :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{R' P_m + L' \omega Q_m}{U^2}$$

5-Méthode des moments électriques :

Pour une distribution triphasée, équilibrée, la chute de tension sera

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

Sachant que :

R : résistance linéique (Ω/km)

X : est la réactance linéique (Ω/km)

Φ : déphasage entre la tension et le courant

En particulier on peut exprimer la valeur de la chute de tension à l'extrémité d'une ligne en fonction de la valeur du courant I en tête de départ, dans les cas plus intéressants de distribution, par la relation suivante :

$$\Delta U = K_v \sqrt{3} I_0 (r \cos \varphi + x \sin \varphi) L$$

$$K_v = \begin{cases} 1 & \text{pour une charge concentrée à l'extrémité de la ligne.} \\ 1/2 & \text{pour une charge uniformément répartie.} \\ 2/3 & \text{pour une distribution triangulaire} \end{cases}$$

L : la longueur de la ligne

I_0 : courant en tête de départ.

Comme :

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

On aura :

$$\Delta U = K_v \frac{P}{U} (r + x \tan \varphi) l$$

D'où
$$\frac{\Delta U}{U} = K_v \frac{P}{U^2} (r + x \tan \varphi)$$

Expression de la chute de tension relative :

En BT :
$$\frac{\Delta U}{U} = 10^5 \frac{P}{U^2} K_v (r + x \tan \varphi) l \quad (\text{en } \%)$$

Où P est en Kilowatts et l en Kilomètres

En MT :
$$\frac{\Delta U}{U} = 10^2 \frac{P}{U^2} K_v (r + x \tan \varphi) l \quad (\text{en } \%)$$

P est en Mw et en KV .

Moment électrique d'une charge :

Le produit $M=P*L$ est appelé le moment électrique de la charge P située à la

Distance L de la source.

Il s'exprime en KW. Km en BT et MW. Km en MT

- Moment M_1 d'une ligne :

Le moment électrique M_1 d'une ligne déterminé, donnant une chute de tension relative de 1% est donné

par la relation suivante :

En MT

$$M_1 = \frac{1}{100K_v} \frac{U^2}{r + x \tan \varphi}$$

En BT

$$M_1 = \frac{1}{10^5 K_v} \frac{U^2}{r + x \tan \varphi}$$

Remarque :

La résistance r varie avec la température de fonctionnement de la ligne.

On n'a pas : $T=20^\circ$ pour les lignes aériennes en conducteur, $T=50^\circ$ pour les câbles souterrains et les lignes aériennes en conducteurs isolés

2- la réactance x varie avec le diamètre et l'écartement des conducteurs.

On a pas : $x=0.35\Omega/\text{km}$ pour les lignes aériennes en conducteur nus.

$X=0.1\Omega/\text{km}$ pour les câbles souterrains et les lignes aériennes en conducteurs isolés.

La chute de tension relative d'une charge de moment " M_1 " alimentée par une ligne électrique de

moment " M_1 " est telle que : $\frac{\Delta U}{U} = \frac{M}{M_1}$

Remarque :

Dans notre cas la chute de tension est largement suffisante pour déduire les différentes sections des câbles utilisés.

Pour toute l'application numérique on a : $x=0.088$; $\varphi=30^\circ$

Remarque

Nous utilisons la méthode des moments pour nos calculs :

III-3-CALCUL DE DIFFERENTES SECTION

$$\triangleright \Delta U = \frac{10^5 * P * L}{U^2} * (r + x \tan \varphi)$$

$$\triangleright R = \frac{\rho}{S} * l \rightarrow S = \rho / r$$

$$\triangleright \left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{reelle}} = \frac{100 * P * L}{U^2} (r_N + x \tan \varphi)$$

A.N :

➤ TGBT-AR4 :L4=232m.

$$r = \frac{2.5 \cdot 380^2}{10^5 \cdot 108 \cdot 0.232} - 0.046 = 0.096.$$

$$S_z \geq 22.5 / 0.096 = 234.18 \text{ mm}^2$$

La section Normalisée est

$$S_N = 240 \text{ mm}^2$$

➤ Calcule de La chute de tension réelle :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{reelle}} = \frac{100 \cdot 108000 \cdot 0.232}{380^2} \left(\frac{21.34}{240} + 0.048\right) = 2.37\%$$

➤ TGBT-AR3 :L3=195 m

$$r = \frac{2.5 \cdot 380^2}{10^5 \cdot 108 \cdot 0.195} - 0.046 = 0.125$$

$$R = \frac{\rho}{S} * l \rightarrow S = \rho / r \quad S_z \geq \frac{22.5}{0.125} \quad \rightarrow S \geq 179.61$$

La section Normalisée est

$$S_N = 240 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{reelle}} = \frac{100 \cdot 108000 \cdot 0.203}{380^2} \left(\frac{21.34}{240} + 0.048\right) = 2.07\%$$

➤ **TGBT-AR2 : L2=160 m**

AN :

$$r = \frac{2.5 \cdot 380^2}{10^5 \cdot 108 \cdot 0.160} - 0.046 = 0.162$$

$$S_Z \geq \frac{22.5}{0.162} = 138.88 \text{ mm}^2$$

La section Normalisée est **S_N = 150 mm²**

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{reelle}} = \frac{100 \cdot 108000 \cdot 0.085}{380^2} \left(\frac{21.34}{150} + 0.048\right) = 2.39 \%$$

➤ **TGBT-AR1 : L1 =122 m :**

AN :

$$r = \frac{2.5 \cdot 380^2}{10^5 \cdot 108 \cdot 0.122} - 0.046 = 0.22$$

$$S_Z \geq \frac{22.5}{0.227} = \text{mm}^2 = 99.12 \text{ mm}^2.$$

La section Normalisée est **S_N = 120 mm²**

d'où la chute de tension réelle :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{reelle}} = \frac{100 \cdot 108000 \cdot 0.122}{380^2} \left(\frac{21.34}{120} + 0.048\right) = 2.026 \%$$

➤ **L=40m (Armoire pied de MAT- Charge) :**

AN :

$$r = \frac{2.5 \cdot 380^2}{10^5 \cdot 108 \cdot 0.040} - 0.046 = 0.78$$

$$S_Z \geq \frac{22.5}{0.78} = 28.84 \text{ mm}^2$$

La section Normalisée est **S_N = 35mm²**

d'où la chute de tension réelle :

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_{\text{reelle}} = \frac{100 \cdot 36000 \cdot 0.040}{380^2} \left(\frac{21.34}{35} + 0.048\right) = 0.65\%$$

CONCLUSION :

les chutes de tension réelles sont inférieures à la chute de tension fixée à 2.5% donc les sections calculées et normalisées sont adéquates pour notre installation électrique.

CHAPITRE IV
PROTECTIONS

IV.1 Introduction :

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable: court-circuit, défaut d'isolement, surtension,...etc. Le choix d'un dispositif de protection n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais une des étapes les plus importantes de la conception d'un réseau électrique.

A partir de l'analyse du comportement des matériels électriques (moteurs, transformateurs, câbles, ...etc.) Sur défauts et des phénomènes qui en découlent, on choisit les dispositifs de protection les mieux adaptés. C'est ce que l'on va présenter dans ce chapitre.

IV.2 Défaits électriques :[10]

IV.2.1 Définition d'un défaut :

C'est la modification accidentelle affectant le fonctionnement normal d'un processus, ou d'un circuit électrique, et pouvant dans certain cas conduire à un effondrement électrique de celui-ci et la mise en danger de son environnement.

IV.2.2 Caractère de défaut :

Les défauts qui se produisent sur les réseaux électriques peuvent être momentanés ou permanents.

IV.2.2.1 Défaut momentanés :

Ce sont ceux qui disparaissent d'eux-mêmes au bout d'un temps variable mais relativement restreint .si leur disparition se produit sans mise hors tension du réseau, ils sont dits <<auto-extincteur>>, c'est le cas des amorçages. Si leur disparition nécessite la mise hors tension du réseau, ils sont dits fugitifs ou <<semi-permanents>>, c'est dans le cas des contacts de branches et d'oiseaux avec les conducteurs.

IV.2.2.2 Défaits permanents :

Ce sont ceux qui nécessitent pour disparaître l'intervention du personnel d'exploitation, car ils exigent une réparation du réseau, c'est le cas de la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne ou bien la détérioration d'un câble souterrain.

IV.2.3 Différents types de défauts :

IV.2.3.1 Courts-circuits :

Un court circuit est la liaison ou la mise en connexion accidentelle de deux point ou plus d'un circuit électrique entre les quelles existe une différence de potentielle.

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être :

- **Monophasé:** entre une phase et la terre ou une masse.
- **Biphasé :** entre deux phases raccordées ensemble, peut être un court-circuit biphasé mis à la terre ou biphasé isolé.
- **Triphasés :** entre trois phases de la ligne ou les trois phases et la terre.

IV.2.3.2 Surintensités :

Les surcharges sur une ligne ou un équipement apparaissent lorsqu'ils sont traversés par un courant supérieur au courant pour lequel ils sont conçus.

Leurs origines sont les courts-circuits et les surcharges :

On a deux types de surcharges :

- Surcharges normales : Elles se produisent lors de la mise sous tension des moteurs, des transformateurs et des appareils électrique divers.
- Surcharges anormales : Les appareils de grande puissance causent des échauffements lents nuisibles aux installations.

IV.2.3.3 Surtensions :

La surtension est le passage de la tension nominale à une valeur supérieur à la nominale. Elles surviennent suite aux différents manœuvres sur les organes de coupure. Les surtensions sont dangereuses dans les réseaux, car elles soumettent les isolants à des contraintes qui risquent de les détériorer.

IV.2.3.4 Les déséquilibre :

Il y'a déséquilibre sur un réseau triphasé lorsque les valeurs de la tension ou du courant sur les trois phases sont différentes.

En fonctionnement normale, les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique fonctionnent dans des conditions très proches d'une symétrie parfaite. Cependant, la répartition de très nombreuses consommations monophasées engendre au niveau des distributions basses et moyennes tension des déséquilibres entre les trois phases qui se traduisent par l'échauffement des conducteurs et des coupures répétées.

IV.2.4 Classification des défauts :

IV.2.4.1 Leur durée :

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

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

Court -circuit semi permanents : Ces courts-circuits exigent pour disparaître une ou plusieurs coupures relativement longues du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dizaines de secondes) sans nécessité d'intervention du personnel d'exploitation.

IV.2.4.2 Leur origine :

- Mécanique, rupture de conducteur, liaison électrique établie entre deux conducteurs par un mauvais câble, une branche, un oiseau...
- Surtension électrique d'origine interne (sur tension de manœuvre) ou à une atmosphère (coup de foudre).
- Dégradation de l'isolement due à la chaleur, à l'humidité, au vieillissement, ou à une atmosphère corrosive.

IV.2.4.3 Par leurs natures :

D'après l'ordre de la fréquence, on distingue quatre types de courts-circuits :

- **Monophasés** : Ou une phase et le neutre ou la terre reliés ensemble, (75%des cas)
- **Biphasés** : Ou deux phase sont raccordés ensemble,(15%des cas).
- **Biphasées-terre** : où deux phases et la terre sont reliées ensembles, (5%des cas).
- **Triphasées** : Où les trois phases sont reliées ensembles. (5% des cas).

IV.2.4.4 Leur localisation :

Interne ou externe à une machine, sur une ligne aérienne ou souterraine

IV.2.5 Conséquences des défauts :

Les courts- circuits ont des effets néfaste sur :

IV.2.5.1 Le fonctionnement des réseaux :

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

IV.2.5.2 La tenue de matériel :

Les courts-circuits provoquent des surintensités violentes qui, amènent deux types de contraintes, des contraintes thermique dues au dégagement de chaleur par effet joule dans les conducteurs, et des contraintes mécaniques ,dues aux contraintes électrodynamiques. De plus l'arc électrique consécutif à un court-circuit met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer des dégâts importants au matériel et même être dangereux pour le personnel travaillant à proximité.

IV.2.5.3 Les chute de tension :

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

IV.2.5.4 Les explosions des disjoncteurs :

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

IV.2.5.5 Les circuits de télécommunications :

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

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

IV.2.5.6 La sécurité des personnes :

La mis sous tension accidentelle des masses, les élévations de potentiel liées à l'écoulement des courant de défauts à la terre, les conducteurs tombés au sol, ...etc.

Sont autant de situations pouvant présentées des risques pour la sécurité des personnes le mode de la mise à la terre des points neutres joue un rôle essentiel.

IV-2-5-7-LES DIFFERENTS SCHEMAS DU NEUTRE

a) Schéma TT :

Neutre à la terre avec liaison à la terre par une prise de terre le schéma TT est caractérisé par:

- Il est imposé par les installations alimentées directement par le réseau de distribution publique basse tension BT (installation domestique ; petit atelier..).
- Il nécessite une coupure de l'alimentation au 1^{er} défaut d'isolement.
- Le schéma TT est la solution la plus simple à installer ; à contrôler et à exploité.

En cas de défaut d'isolement entre une phase et la terre le courant circulant par la boucle comportant les prises de terre des masses et du neutre n'est alimenté que par l'impédance de la boucle, et prendra donc la valeur maximale.

En régime TT, les dispositifs de coupure automatique sont les dispositifs à courant différentiel résiduel(DR) dont le seuil de fonctionnement dépend de la valeur maximal de la résistance de la prise de terre et de la tension limite conventionnelle à appliquer :

$$I\Delta k \leq \frac{U_L}{R_a}$$

$I\Delta k$: Courant différentiel résiduel nominal de dispositif DR.

R_a : résistance de la prise de terre des masses.

U_L : Tension limite conventionnelle : elle représente la valeur de la tension de contact présumé, pouvant être maintenue indéfiniment, sans danger pour les personnes.

******Pour les conditions normales (sèches et humides) la tension limite conventionnelle U_L et fixé à 50 volt, elle doit être appliquée par exemple :

- * Dans les locaux d'habitude sauf salle d'eau.
- * Dans les locaux industriels et commerciaux non mouillés.
- * Dans les bureaux.

******pour les conditions mouillées, la tension limite U_L est fixe à 25 volts. Elle doit être appliquée par exemple :

- * Dans les locaux industriels ou commerciaux mouillés ; dans les enceintes conductrices non mouillées.
- * Sur les emplacements extérieurs.
- * Sur les chantiers et dans les établissements de thermes.

******Pour les conditions d'émersion, la tension limite conventionnelle U_L est fixée à 12 volts, elle doit être appliquée dans :

- *Dans les enceintes conductrices mouillées.
- *Dans les volumes de protections, des salles d'eau et des piscines.

b) SCHEMA IT : Neutre isolant ou impédant.

Le schéma IT est caractérisé par :

- Ce schéma n'est possible que dans les installations alimentées à partir d'un poste de transformation privé.

Dans le cas d'un défaut entre la phase et la masse, le courant circule dans la boucle comportant les prises de terre du neutre (par l'intermédiaire d'impédance).

- C'est le Seul schéma qui n'incite pas les utilisateurs à s'affranchir des protections, la présence d'un premier défaut ne les empêche pas de poursuivre leurs travaux.
- Le seul schéma permettant une surveillance construite de bon niveau d'isolement.

c) SCHEMA TN : Neutre à la terre avec liaison des masses au neutre.

Il existe en pratique deux types de schéma de mise au neutre des masses (TNC ; TNS) voir figures ci-dessous.

****Le schéma TNC : dans lequel le conducteur neutre et le conducteur de protection sont confondus (conducteur PEN).**

-Ce type de schéma est interdit pour les sections des conducteurs inférieur à 10mm^2 pour le cuivre ; et 16mm^2 pour l'aluminium en aval du schéma TNS, on utilise l'appareillage tripolaire.

-Il faut répartir tout le long du conducteur(PEN) les prises de terre afin d'éviter les montées en potentiel des masses.

***Le schéma TNS : dans lequel le conducteur de protection et le conducteur neutre sont distincts (deux conducteurs PE et N).**

-La protection est assurée par les dispositifs de protections contre les surintensités (disjoncteurs, Fusible) en effet, tout défaut d'isolement entre un conducteur et une masse devient un défaut entre phase et neutre et donne naissance à un courant de court-circuit qui doit faire fonctionner le dispositif de protection contre les surintensités, placé en AMONT.

Dans un temps inférieur à celui spécifié sur la courbe de sécurité, cette exigence est satisfaite si la condition suivante est remplie :

$$Z_d \cdot I_d \leq U_0$$

- Z_d : impédance de boucle de défaut.

- I_d : Courant de fonctionnement du dispositif de coupure automatique.

U_0 : -Tension entre phase et neutre.

L'utilisation de ces schémas permet une simplification des installations ; du fait que la protection des personnes est assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités et que les canalisations comportent généralement un conducteur au moins, mais elle nécessite, surtout pour le schéma TNC, de prendre des mesures spéciales pour empêcher toute montée en potentiel du conducteur neutre puisque ce conducteur devient accessible par sa connexion aux masses de l'installation.

Pour le schéma TNC on a :

Avantage:

- économique car il ya deux conducteurs remplacés par un seul.
- Il assure la protection contre les contacts indirects par l'emploi des dispositifs de protection.

Inconvénients :

- Dans le cas d'un isolement entre phase et une masse, le courant circule dans la boucle, ceci impose donc une coupure au premier défaut.
- L'augmentation de risques d'incendies du fait de forts courant de défaut.
- La nécessité d'un contrôle périodique de la continuité de conducteur de protection nécessite des prises de terre uniformément répartie pour le schéma.
- TNC on doit utiliser les canalisations fixes et rigides d'après la norme NFc-15-100.

IV-2-5-8-LA MISE A LA TERRE

La mise a la terre d'une prise de terre d'une masse métallique ou d'un ensemble de masse métalliques consiste à étudier une liaison électrique entre cette masse ou cet ensemble de masse et la masse terrestre, cette liaison comporte généralement des conducteurs de protections, un ou plusieurs conducteurs de terre et la prise de terre proprement dite.

- Un conducteur de protection est un conducteur autre qu'un conducteur actif reliant une ou plusieurs masses métallique à un conducteur de terre.
- Une prise de terre est la pièce conductrice enterrée permettant d'établir une liaison électrique avec les masses métallique avec la terre.

Sa résistance dépend de sa forme, de ses dimensions et de la résistivité du terrain, on cherche toujours à les implanter comme suit :

- dans les parties humides du terrain ou la résistivité est faible.
- A une profondeur convenable afin d'éviter la corrosion.
- En dehors des voies de circulation et dans les zones accessibles aux piétons.
- La protection par la mise a la terre est utilisée contre les dangers des contacts industriels et domestique, de la foudre de l'électricité statique.
- Le gel, la sécheresse augmentent la résistivité des terrains, et leur effets peuvent ce faire ressentir jusqu'à plus de 2 m de profondeur.

QUALITE D'UNE MISE A LA TERRE :

Les qualités de la mise à la terre sont en fonctions de :

- La nature de la prise de terre (Résistivité).
- des caractéristiques de la prise de terre (lieu d'implantation, la profondeur dans le sol, forme, longueur et sections des conducteurs, nature du métal).
- Des caractéristiques des conducteurs de terre et de protection (nature et sections des conducteurs).
- Résistivité du terrain :
- Elle dépend de la nature du terrain, du taux d'humidité et des circonstances climatiques, les valeurs moyennes de la résistivité de quelques terrais sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

NATURE DU TERRAIN	RESISTIVITE
TERRAIN GRAS : terrain arable grasse-remblais compact humides	50
TERRAIN MAIGRE : terre arable maigre-gravier remblais grossiers	500
TERRAIN PIERREUX : Pierreux nus sable sec roche imperméable	3000

CONSTITUTION ET REALISATION DES PRISES DETERRE

Boucle à fond de fouille de bâtiment

Cette disposition est conseillée pour toute construction nouvelle, elle consiste à faire un ceinturage de constructeur à fond de fouille lors de la construction.

Elle est constituée :

- Soit par un conducteur en cuivre d'au moins 25mm².
- Soit par un feuillard en acier de qualité marchande d'au moins 100mm² de section ; de 3mm d'épaisseur.
- Soit par un câble d'acier de 95mm²noyé dans le béton de propreté de la fondation ou la résistance de prise de terre est donnée d'après la relation suivante :

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

R : résistance de la prise de terre en **(H)**,

ρ : résistance du sol en **(H. m)**.

L : la longueur de la boucle en m.

B) le PIQUET :

Cette disposition est généralement retenue pour les bâtiments existants ou pour améliorer une prise de terre existante, il peut être :

- En acier galvanisé.

- Rond de diamètre supérieur ou égal à 15mm.
- Tube de diamètre supérieur ou égal à 25mm il doit être de longueur 2m ; ou de profilé en acier galvanisé d'où moins de 60 mm de coté.

Ou la prise de terre est donnée d'après la relation suivante :

$$R = \frac{1}{n} * \frac{\rho}{L}$$

Avec :

L : longueur du piquet.

n : nombre de piquets.

R : résistance de la prise de terre.

ρ : Résistivité du sol.

Pour diminuer la résistance R on place plusieurs piquet à condition de respecter la distance de 3m entre deux piquets.

c)Plaque verticale :

On utilise des plaques rectangulaire (0.50*1m) ; ou carré(1m*1m) en cuivre(épaisseur minimale 3mm),enfouis ou enterrée de telle façon que leur centre soit au moins ou se trouve à une profondeur de 1m.

En cuivre de 2mm d'épaisseur.

- En acier galvanisé de 3mm d'épaisseur.
- d'où la résistance de la prise de terre est donnée d'après la relation suivante :

$$R = \frac{0.8\rho}{L}$$

R : résistance de la prise de terre en (Ci).

ρ : résistivité du sol en (IL m).

L : le périmètre de la plaque en (m).

Il est strictement inetrdit d'utiliser comme prise de terre des canalisations de gaz, de chauffage central, de conduite de vidange, de fumée ou d'ordure ménagère.

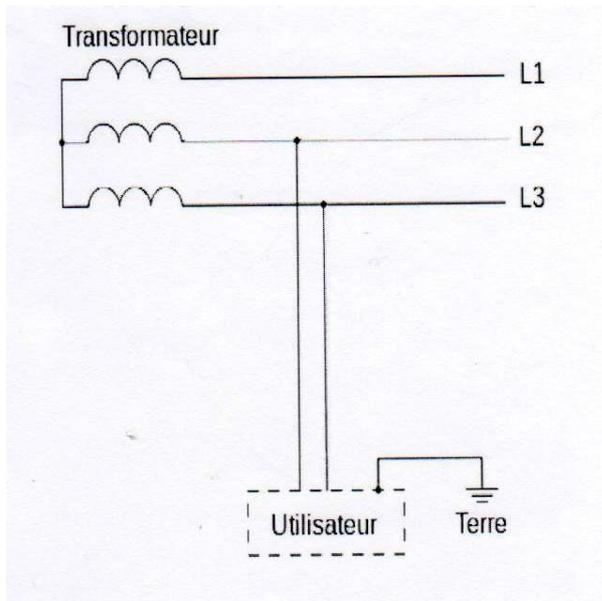


Schéma IT

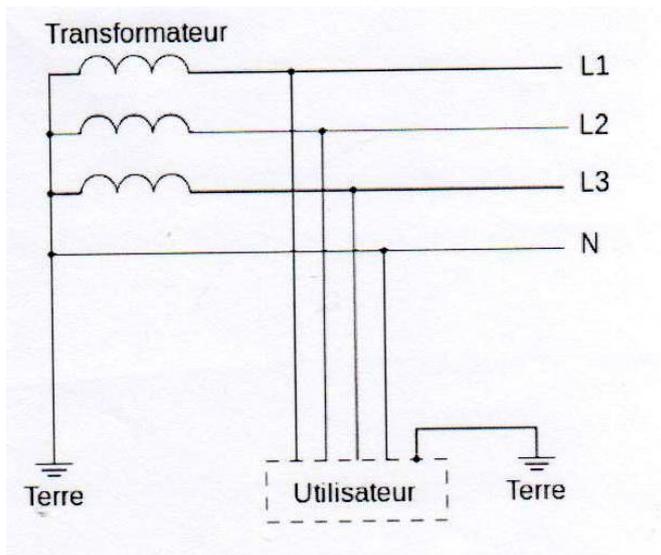


Schéma TT

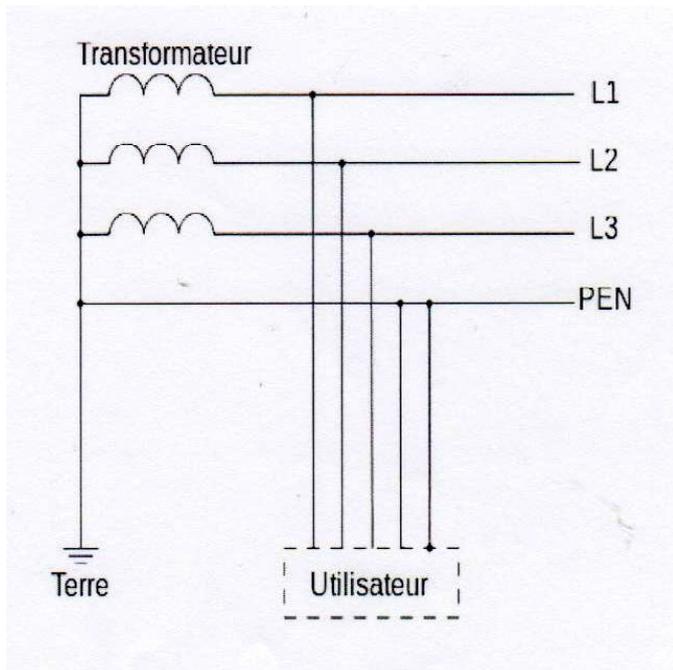


Schéma TNC

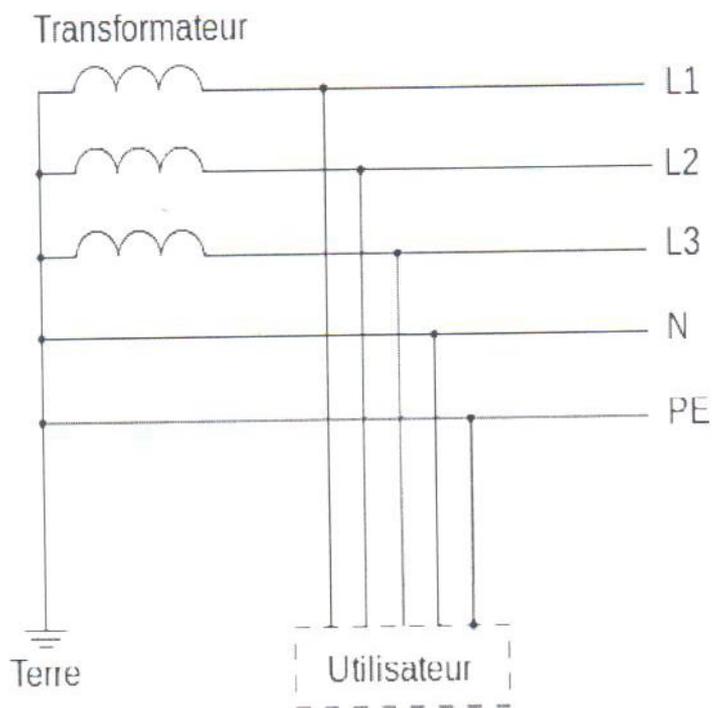


Schéma TNS

IV.2.6 Etude des courants de court circuit :

IV.2.6.1 Intensité des courants des courts circuits :

L'intensité d'un courant de court circuit dans un réseau monophasé se définit simplement par application de la loi d'Ohm $I = \frac{V}{Z}$

V : Etant la tension de la source.

Z : Représente l'impédance totale du circuit y compris celle du défaut.

L'intensité I d'un courant de court circuit dans un réseau triphasé se définit toujours par phase à partir de la tension simple du réseau et de l'impédance correspondante par phase.

IV.2.6.2 Les composantes symétriques :

Le calcul des courants de court-circuit nécessite le recours aux composantes symétrique, sauf pour le cas d'un défaut triphasé symétrique, qui n'introduit aucun déséquilibre entre les phases du réseau.

IV.2.6.3 Définition des composantes symétriques :

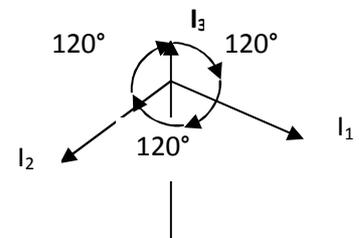
On considère le système triphasé sinusoïdal équilibré suivant

a- Système directe

$$I_1 = I\sqrt{2} \cos \omega t$$

$$I_2 = I\sqrt{2} \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$I_3 = I\sqrt{2} \cos \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

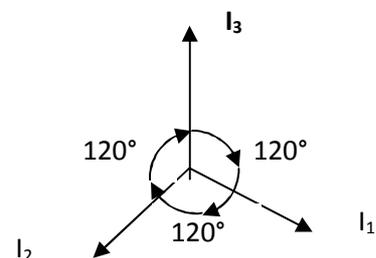


b- Système inverse

$$I_1 = I\sqrt{2} \cos \omega t$$

$$I_2 = I\sqrt{2} \cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$$

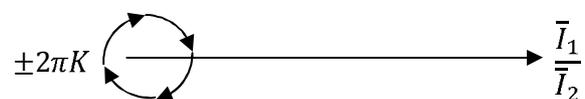
$$I_3 = I\sqrt{2} \cos \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$



c- Système homopolaire

$$I_1 = I\sqrt{2} \cos \omega t$$

$$I_2 = I\sqrt{2} \cos \omega t$$



$$I_3 = I\sqrt{2} \cos \omega t$$

IV.2.6.4 Décomposition d'un système triphasé quelconque formé de trois vecteurs I_1, I_2, I_3

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

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

IV.2.6.5 Expression des composantes symétriques

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

Avec $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$

Opérateur de rotation, appliqué à un vecteur le fait tourner d'un angle de $\frac{2\pi}{3}$ dans le sens trigonométrique.

IV.2.6.6 Principe de l'impédance des composantes :

Un réseau triphasé en régime déséquilibré peut être décrit par trois systèmes d'équations indépendants, correspondants au système direct, inverse et homopolaire.

$$U_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d \bar{I}_d$$

$$\bar{U}_i = \bar{E}_i - \bar{Z}_i \bar{I}_i$$

$$\bar{U}_o = \bar{E}_o - \bar{Z}_o \bar{I}_o$$

Les trois grandeurs $\bar{Z}_d, \bar{Z}_i, \bar{Z}_o$, sont les impédances cycliques du circuit, respectivement direct, inverse et homopolaire.

En fonctionnement normal, le système se réduit à la composante directe.

En régime déséquilibré, on simplifie les écritures :

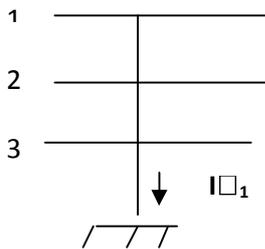
Par simplification du principe de superposition des états, c'est-à-dire :

$$\bar{E}_d = E, \quad \bar{E}_i = \bar{E}_o = 0$$

$$\begin{cases} \bar{E}_d = \bar{Z}_d \bar{I}_d + \bar{U}_d \\ 0 = \bar{Z}_d \bar{I}_d + \bar{U}_i \\ 0 = \bar{Z}_o \bar{I}_o + \bar{U}_o \end{cases}$$

IV.2.7 Analyse du défaut : [12]

.1. Court circuit monophasé



$$\begin{cases} \bar{E}_d = Z_d I_d + U_d & (1) \\ 0 = Z_i I_i + U_i & (2) \\ 0 = Z_o I_o + U_o & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_1 = 0 & (4) \\ I_2 = 0 & (5) \\ I_3 = 0 & (6) \end{cases}$$

(5) et (6) d'après (3)

$$\bar{I}_d = \bar{I}_i = \bar{I}_o = \frac{1}{3} \bar{I}_1$$

$$(4) \rightarrow U_1 = U_d + U_i + U_o = 0$$

$$\bar{E}_d - \bar{Z}_d \bar{I}_d - \bar{Z}_i \bar{I}_i - \bar{Z}_o \bar{I}_o = 0$$

$$\bar{E}_d = (\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_o) \bar{I}_d$$

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

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

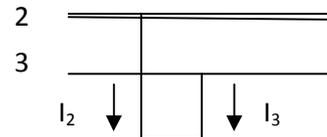
$$\begin{cases} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o = 3\bar{I}_d = \frac{3\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_o} \\ \bar{I}_2 = a^2\bar{I}_d + a\bar{I}_i + \bar{I}_o = \bar{I}_d(a^2 + a + 1) = 0 \\ \bar{I}_c = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{U}_d = \bar{E}_d - \bar{Z}_d\bar{I}_d = \bar{E}_d - \bar{E}_d \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_o} = \bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i + \bar{Z}_o}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_o} \\ \bar{U}_i = -\bar{Z}_i\bar{I}_i = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_o} \\ \bar{U}_o = -\bar{Z}_o\bar{I}_o = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_o}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_o} \end{cases}$$

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

.2. Court circuit biphasé sans contact avec la terre

$$\begin{cases} \bar{E}_d = \bar{Z}_d\bar{I}_d + \bar{U}_d & (1) \\ 0 = \bar{Z}_i\bar{I}_i + \bar{U}_i & (2) \\ 0 = \bar{Z}_o\bar{I}_o + \bar{U}_o & (3) \end{cases}$$



$$\begin{cases} I_1 = 0 & (4) \\ U_2 = U_3 & (5) \\ I_2 = I_3 & (6) \end{cases}$$

$$I_o = 0 \quad , \quad U_o = Z_o I_o = \infty \cdot 0$$

$$U_o = 0$$

$$(4) \rightarrow \bar{I}_1 = 0 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o$$

$$\bar{I}_d = -\bar{I}_i \quad (7)$$

$$(5) \Rightarrow U_2 = U_3$$

$$a^2\bar{U}_d + a\bar{U}_i + \bar{U}_o = a\bar{U}_d + a^2\bar{U}_i + \bar{U}_o$$

$$(a^2 - a)\bar{U}_d = (a^2 - a)\bar{U}_i \Leftrightarrow \bar{U}_d = \bar{U}_i \quad (8)$$

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

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

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

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

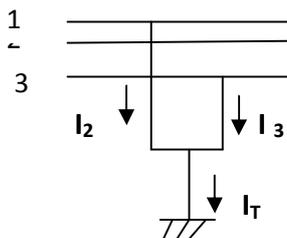
Sachant les composantes des courants on calcule les courants des phases.

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} - \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} = 0 \\ \bar{I}_2 = a^2\bar{I}_d + a\bar{I}_i = (a^2 - a)\bar{I}_d = -j\sqrt{3}\bar{I}_d = -j\frac{\sqrt{3}\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \\ \bar{I}_3 = (a^2 - a)\bar{I}_d = j\frac{\sqrt{3}\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \end{array} \right.$$

$$(8) \rightarrow \bar{U}_d = \bar{U}_i = -\bar{Z}_i\bar{I}_i = \bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{U}_1 = \bar{U}_d + \bar{U}_i = 2\bar{U}_d = \bar{E}_d \frac{2\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \\ \bar{U}_2 = a^2\bar{U}_d + a\bar{U}_i = (a^2 + a)\bar{U}_d = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \\ \bar{U}_3 = \bar{U}_2 = -\bar{E}_d \frac{\bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \end{array} \right.$$

.3. Court circuit biphasé ayant contacte avec la terre.



$$\begin{cases} \bar{I}_1 = 0 & (1) \\ \bar{U}_2 = 0 & (2) \\ \bar{U}_3 = 0 & (3) \end{cases}$$

Si deux tensions et deux courants sont égales à zéro, en utilisant l'équation (1), on trouve que les composantes des courants ou des tensions sont égales.

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

$$\bar{U}_d = \bar{U}_i = \bar{U}_o = \frac{1}{3}\bar{U}_1$$

$$(1) \rightarrow \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o$$

$$\frac{\bar{E}_d - \bar{U}_d}{\bar{Z}_d} - \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_i} - \frac{\bar{U}_o}{\bar{Z}_o} = 0$$

$$\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d} = \bar{U}_d \left(\frac{1}{\bar{Z}_d} + \frac{1}{\bar{Z}_i} + \frac{1}{\bar{Z}_o} \right)$$

$$\bar{U}_d = \frac{\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d}}{\frac{1}{\bar{Z}_d} + \frac{1}{\bar{Z}_i} + \frac{1}{\bar{Z}_o}} = \frac{\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}}$$

$$\bar{U}_d = \bar{U}_i = \bar{U}_o = \frac{\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}}$$

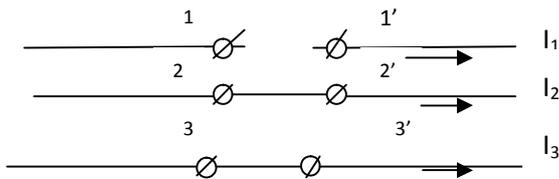
$$\begin{cases} \bar{U}_1 = \bar{U}_d + \bar{U}_i + \bar{U}_o = 3\bar{U}_d = \frac{\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}} \\ \bar{U}_2 = a^2\bar{U}_d + a\bar{U}_i + \bar{U}_o = \bar{U}_2(a^2 + a + 1) = 0 \\ \bar{U}_3 = 0 \end{cases}$$

On calcule les composantes symétriques des courants :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d - \bar{U}_d}{\bar{Z}_d} = \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}} \right) \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d} \\ \bar{I}_i = -\frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_i} = -\frac{\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_i}}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}} \\ \bar{I}_o = -\frac{\bar{U}_o}{\bar{Z}_o} = -\frac{\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_o}}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o \\ \bar{I}_2 = a^2 \bar{I}_d + a \bar{I}_i + \bar{I}_o \\ \bar{I}_3 = a \bar{I}_d + a^2 \bar{I}_i + \bar{I}_o \end{array} \right.$$

4. Coupure sur une phase :



$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{E}_d = \bar{Z}_d \bar{I}_d + \bar{U}_d \quad (1) \\ 0 = \bar{Z}_i \bar{I}_i + \bar{U}_i \quad (2) \\ 0 = \bar{Z}_o \bar{I}_o + \bar{U}_o \quad (3) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_1 = 0 \quad (4) \\ \bar{U}_{22} = 0 \quad (5) \\ \bar{U}_{33} = 0 \quad (6) \end{array} \right.$$

$$\bar{U}_d = \bar{U}_i = \bar{U}_o = \frac{1}{3} \bar{U}_{11}$$

$$(4) \Rightarrow \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o = 0$$

$$\frac{\bar{E}_d - \bar{U}_d}{\bar{Z}_d} - \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_i} - \frac{\bar{U}_o}{\bar{Z}_o} = 0$$

$$\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d} = \bar{U}_d \left(\frac{1}{\bar{Z}_d} + \frac{1}{\bar{Z}_i} + \frac{1}{\bar{Z}_o} \right)$$

$$\bar{U}_d = \frac{\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}}$$

$$\bar{U}_d = \bar{U}_i = \bar{U}_o = \frac{\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{U}_{11} = \bar{U}_d + \bar{U}_o + \bar{U}_i = 3\bar{U}_d = \frac{3\bar{E}_d}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}} \\ \bar{U}_{22} = a^2\bar{U}_d + a\bar{U}_i + \bar{U}_o = \bar{U}_d(a^2 + a + 1) = 0 \\ \bar{U}_{33} = 0 \end{array} \right.$$

$$\bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d - \bar{U}_d}{\bar{Z}_d} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}} \right)$$

$$\bar{I}_i = -\frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_i} = -\frac{\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_i}}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}}$$

$$\bar{I}_o = -\frac{\bar{U}_o}{\bar{Z}_o} = -\frac{\frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_o}}{1 + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_i} + \frac{\bar{Z}_d}{\bar{Z}_o}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{I}_1 = \bar{I}_d + \bar{I}_i + \bar{I}_o \\ \bar{I}_2 = a^2\bar{I}_d + a\bar{I}_i + \bar{I}_o \\ \bar{I}_3 = a\bar{I}_d + a^2\bar{I}_i + \bar{I}_o \end{array} \right.$$

IV.3 Protection des réseaux MT :[12]

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

IV.3.1 Objectifs du système de protection :

Ce système doit répondre aux objectifs suivants :

- Préserver la sécurité des personnes d'un danger d'électrocution.
- Assurer la continuité de fourniture d'énergie électrique.

IV.3.2 - Qualités principales d'un système de protection :

IV.3.2.1 - Rapidité :

Les courts-circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires.

Le temps d'élimination des courts-circuits comprend deux composantes principales :

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

IV.3.2.2 - Sensibilité :

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

Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations est donc parfaitement connu,

Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

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

IV.3.2.3- Fiabilité :

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

Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un court-circuit sur le réseau en tout point conforme à ce qui est attendu.

A l'inverse, pour un fonctionnement incorrect, elle comporte deux aspects :

- Le défaut de fonctionnement ou non-fonctionnement lorsqu'une protection, qui aurait du fonctionner, n'a pas fonctionné.
- Le fonctionnement intempestif, qui est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour laquelle la protection n'aurait pas du fonctionner.

La fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect (éviter les déclenchements intempestifs), est la combinaison de :

- La sûreté : qui est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement.
- La sécurité : qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif.

IV.3.2.4 La sélectivité :

Elle permet à l'appareil d'éliminer que la partie en défaut.

Le système de protection doit être capable d'identifier sans ambiguïté l'ouvrage atteint et commander l'ouverture des dispositifs de protection nécessaire à la mise hors tension de cet ouvrage et de lui seul.

Et pour satisfaire cette condition, on a les types de protection suivants :

- Protection différentielle totalement sélective.
- Protection de distance.
- Protection à maximum de courant et à minimum de tension

IV.4-Protection des transformateur HT/MT :

Le transformateur HT/MT sera en générale protégé par 2 protection à maximum de courant.

- La 1^{ere}, coté moyenne tension, est une protection contre les surcharge des transformateur est constitue vis-à-vis des défauts polyphasés sur les lignes MT.
- La 2^{eme} coté HT, sera une protection à maximum de courant à deux seuils d'intervention :
 - Le 1^{ere} seuil temporisé vis-à-vis des départ HT/MT, réagit aux défauts dans le transformateur et sur les lignes MT.
 - Le 2^{eme}, de type instantané à pour but la protection contre court circuit sur le primaire du transformateur et sont courant d'intervention est tel qu'il n'est pas sensible aux courts circuits de la tranche MT.

- **Protection différentielle :**

La protection différentielle est obtenue par la comparaison de la somme des courants primaire à la somme des courants secondaires.

Le principe de fonctionnement de la protection est basé sur la comparaison des courant rentrant et des courant sortant du transformateur HT/MT on tenant compte du rapport de transformation cette protection à une sélectivité absolue il lui est demandé en plus, d'être très stable vis-à-vis des défauts extérieures.

- **Protection thermique de la cuve :**

Une protection thermique de cuve sera prévue. Cette protection devra contrôler la température de l'huile et aura 2 seuils :

La 1ere donnera un signale d'alarme, le second un signale de déclenchement.

- **Protection interne du transformateur :**

Les arcs qui prennent naissance à l'intérieur de la cuve d'un transformateur décomposent Certaine quantité d'huile et provoquent un dégagement gazeux. Les gaz produits montent vers la partie supérieure de la cuve de transformateur et de là vers le conservateur à travers un relais mécanique appelé relais BUCHHOLZ. Ce relais est sensible à tout mouvement de gaz ou d'huile. Cette protection sera à deux niveaux pour le transformateur: le premier donnera un signal d'alarme, le second un signal de déclenchement.

- **Protection de la cuve du transformateur :**

Cette protection est sensible au court-circuit susceptible de circuler dans la connexion qui relie la cuve du transformateur au circuit de terre du poste. Elle consiste en un relais ampérométrique instantané alimenté par un transformateur de courant dans une connexion. Tout contournement de la barre du transformateur, tout défaut à la masse d'un enroulement produisent un courant et détecté par les relais. Toute fois d'autres courants peuvent circuler dans la connexion et dans les relais à savoir :

- Les courants engendrés par les tensions induites dans les enveloppes métalliques des câbles de contrôle.
- Les courants de retour par le sol si la cuve est mal isolée.
- de la ligne en régime de défaut.

IV.4-1 Appareils de protection :

IV.4-2 Disjoncteur :

Selon la définition de la Commission électrotechnique internationale (C.E.I), un disjoncteur à HTA est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège) à la fois :

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

De par ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel des réseaux électrique HTA, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc éviter que le matériel soit endommagé par ce court-circuit.

Les différents types de disjoncteur :

- Le disjoncteur à faible volume d'huile.
- Le disjoncteur magnétique.
- Le disjoncteur à hexafluorure de soufre SF₆.
- Le disjoncteur à vide.
- Le disjoncteur pneumatique ou à air comprimé.

IV.4-3 Les sectionneurs :

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

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture, il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une

ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brulures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

Les différents types de sectionneurs :

- Sectionneur unipolaire HTA, pour l'extérieur.
- Sectionneur bipolaire HTA, pour l'extérieur.
- Sectionneur tripolaire HTA, pour l'extérieur.
- Sectionneur rotatif HT, pour l'extérieur.
- Sectionneur de mise à la terre.

IV.4-4 Relais :

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température...) et le transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande).

Donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormale pouvant se produire sur un réseau électrique, tel que le court circuit, variation, de tension...etc.

IV.4.5 Parafoudres :

Ce sont des appareils destinés à limiter les surtension imposées aux transformateurs ou autres dispositifs, instruments et machines électriques par la foudre et par les manœuvres de commutations des lignes et des transformateurs, 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 1 Ohm.

Les différents types de parafoudre :

- Parafoudre à expulsion.
- Parafoudre à résistances variables.
- Eclateur simple.

IV.4-6 Les interrupteurs :

En électricité, un interrupteur est un organe ou appareillage de commande qui permet d'ouvrir et de fermer un circuit alimentant un appareil électrique aux valeurs des intensités. Il possède un certain pouvoir de couper, en générale il peut couper sous la tension nominale un courant d'une intensité nominale.

IV.4-7 Coupes circuits à fusible :

Les coupes circuits à fusible sont des appareils de protection contre les surintensités, à cet effet, ils comportent un élément conducteur qui dans certaines conditions s'échauffe et fond sous l'action de passage de courant. Il en résulte une coupure du circuit dans lequel l'élément fusible est inséré, d'où la protection des appareils situés en aval.

Différents types de coupes circuit à fusible :

- **Coupe circuit à expulsion :** la coupure est établie par soufflage de l'arc.
- **Coupe circuit à fusion en fermée:** on distingue deux types:
 - Coupe-circuit fusion à liquide extincteur.
 - Coupe-circuit fusion en fermée à matière pulvérulente.

IV -5 Conclusion

Dans le cas de notre projet les protections de l'ensemble des sportifs ou autres personnes et du matériels électrique est assuré par

- 4 piquets de terre autour de chaque mâts enfouis a 2 m de fond. voir schéma
- Un parafoudre protégeant les herses de projecteurs.
- Des disjoncteurs magnétothermiques pour le post HTA/BT et le TGBT.
- Schéma du neutre ou de mise a la terre est le « TNC »

Protection du transformateur

Les règles de l'art imposent que le transformateur soit protégé contre :

- les courts-circuits jusqu'au TGBT
- les risques d'incendie dus au diélectrique liquide
- les surcharges
- les défauts internes
- les défauts à la terre.
- Le retour du courant d'une source autonome.
- les courts-circuits à l'aval du TGBT.

Choix du type de cellule QM ou DM 1

Deux types de cellules sont disponibles :

- DM1 : disjoncteur dans le comptage MT (puissance supérieur a 630kVA)
- QM : combiné interrupteur-fusible avec percuteurs (pour donner l'ordre de déclenchement aux trois phases ; comptage BT)

Sept paramètres vont influencer sur le choix

- la valeur du courant primaire
- le besoin d'alimentation triphasée (champ tournant)
- le diélectrique du transformateur
- l'installation du poste par rapport au local principal
- la puissance du transformateur
- la distance des cellules au transformateur
- l'emploi de relais indirects.

Le tableau de la page suivante présente les conditions de choix des cellules de protection.

**Choix de la cellule protection en conformité avec la
NF C 13-100 et les conditions d'exploitation**

Le tableau ci-dessous résume les possibilités de choix

critères de choix	cellule de protection	
type	DM1	QM
courant côté HTA (I)		
$I_N \geq 45 \text{ A}$		
$I_N < 45 \text{ A}$		avec DGPT2
disponibilité de l'énergie		
optimisée (1)		
distance cellule-transfo (d)		
$d < 100\text{m}$		
$d \geq 100\text{m}$	avec relais de protection Spam homopolaire	avec relais de protection Spam homopolaire

CONCLUSION

CONCLUSION

De la livraison à la distribution de l'énergie électrique il a suffi la connaissance de la puissance d'un projecteur ,on a établie un bilan de puissance on a pu calculer la puissance et les courants transitant dans les armoires pied de mâts ainsi le TGBT puis faire le choix du transformateur a installer et créer un poste HTA/BT ; puis déterminer le type de raccordement au réseau MT .

BIBLIOGRAPHIE

- [1] www.lamap.fr/bdd_image.
- [2] [www.dynaulum.com/dico/definition de la lumiere.htm](http://www.dynaulum.com/dico/definition_de_la_lumiere.htm).
- [3] powerson materiel de cours sur le theme de l'electricité.
- [4] www.legrand.fr/professionel.
- [5] memothech electrotechnique2eme edition1987
- [6] www.legrand.fr/professionel
- [7] www.deco-travaux.com/électricité
- [8]Réglementation Eclairage terrain de football
- [9] Thèse magister 2010 ; Sayene Nabila (restructuration des réseaux électrique)
- [10] thèse magister ZELLAGUI MOHAMED constantine
- [11] Guide technique Schneider Electric
- [12] Guide technique Sonelgaz
- [13] wikipedia lien internet
- [14] ingelec.ma
- [15] les bases techniques des postes MT utilisés dans le réseau.