



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة العربي التبسي – تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des Mines
قسم الإلكتروميكانيك
Département Electromécanique



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Option : Electromécanique

Proposition d'un logigramme de la section des conducteurs

Par

KLAA Ayoub et BOUCHAGORA Halim

Devant le jury :

MALKIA Chaouki	MAA	Président	Université Larbi TebessiTébessa
KARA Mohamed	PROF	Encadreur	Université Larbi TebessiTébessa
SOUDANI Mohamed Saleh	MAA	Examinateur	Université Larbi TebessiTébessa

Promotion 2020-2021

Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur PROF.KARIM MOUHAMED d'avoir posé un sujet très intéressant et pour leurs conseils et soutien.

Nos respectueux remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté sur mon travail.

Tous nos camarades et amis et qui nous a aidé pour le bon déroulement de ce travail et tout personne qui nous aidé à atteindre ce point-là.

DÉDICACE

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum " Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à :

- *Ma mère et père Que dieu les garde et les protège.*
- *A mes adorables sœurs.*
- *A tous ceux qui me sont chères. A tous ceux qui m'aiment et toutes ma famille.*
- *Mon binôme KLA AYOUB.*
- *Ma copine DUDU.*
- *Je dédie ce travail.*

B .HALIM

DÉDICACE :

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum " Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à :

- *Ma mère et père Que dieu les gardes et les protège.*
- *A m'adorable sœur.*
- *A tous ceux qui me sont chères. A tous ceux qui m'aiment et toutes ma famille.*
- *Mon binôme BOUCHAOURA HALIM .*
- *Je dédie ce travail.*

K.AYOUN

Résumé

L'électricité est une énergie précieuse devant être utilisée à bon ascien ceci est prouvée par les constructeurs, qui ont recours à des méthodes modernes afin d'améliorer l'efficacité des appareils électiques (câbles) et des procès pour une réduction des pertes.

Dans ce but, nous avons de réaliser des recherches et des études pour le choix rationnel des câbles électriques moyens et basse tension.

Il s'agit de l'élaboration d'un logigramme de choix optimale de la section des câbles de broyeur cru établit dans les conditions de la cimenterie du MA-LABIOD.

Grace à ce logigramme ne pouvons savoir l'économie d'énergie à la condition de la consommation optimale.

Sachant que dans cette mémoire présentée, le champ de recherche sur l'économie d'énergie électrique n'est pas limite uniquement dans l'installation de broyage mais aussi il élargi aux installations électrique des entreprises similaires.

Les Résultats obtenus sont valables non seulement pour les entreprises en phase d'exploitation mais aussi utiles pour les entreprises en phase de rénovation ou d'extension de leur réseau, d'apporter un soin particulier aux choix financier qui s'offre l'entreprise.

Résumé

Abstract

Electricity is a valuable energy had to be used ascien this is proven by manufacturers, who resort to modern methods in order to improve the efficiency of eclectic devices (cables) and trials for a reduction of losses.

For this purpose, we have to carry out research and studies for the rational choice of medium and low voltage electrical cables.

This is the development of a flowchart of optimal choice of the section of raw mill cables established under the conditions of the MA-LABIOD cement plant.

Thanks to this flowchart can't know the energy saving on the condition of optimal consumption.

Knowing that in this brief presented, the field of research on the saving of electrical energy is not limited only in the grinding plant but also it extended to the electrical installations of similar companies.

The results obtained are valid not only for companies in the operating phase but also useful for companies in the renovation or extension phase of their network, to take particular care in the financial choices available to the company.

Sommaire

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction générale

Chapitre 01 Structure générale des réseaux électriques.

Introduction	01
1.1. Organisation d'un réseau électrique	03
1.1. 1. Production	03
1.1.2. Transport	03
1.1.3. Distribution	03
1.1.4. Consommation	04
1.2. Les liaisons des réseaux électriques	04
1.2.1. Réseaux de transport et d'interconnexion	05
1.2.2. Réseaux de répartition	05
1.2.3. Réseaux de distribution	1.3.
Production de l'énergie électrique	06
1.3.1. Les centrales thermiques	07
1.3.2. Les centrales nucléaires	07
1.3.3. Centrales éoliennes	08
1.3.4. Centrale photovoltaïque	09
1.3.5. Les centrales hydroélectriques	10
1.4 Tensions normalisées	11
1.4.1. Les classifications des tensions du réseau électrique	11
1.5. Architecture des réseaux de distribution	12
1.5.1. Les réseaux de distribution aériens.....	12
1.5.2. Les réseaux de distribution souterrains	13
1.6. Les éléments constitutifs d'un réseau d'énergie	14
1.6.1. Les sources d'énergie	14
1.6.2. Les lignes électriques	19

Sommaire

1.6.3. Les transformateurs de puissance	20
1.6.4. Les postes électriques	20
1.6.4.1. Les postes de livraison HTB	20
1.6. Les réseaux BT à l'intérieur du site	30
1.6.1. Modes d'alimentation des tableaux BT	30
1.6.2. Les tableaux BT secourus par des alternateurs	32

Chapitre 02 Description de l'entreprise.

2.1. Présentation de l'entreprise	34
2.2. Processus technologique de fabrication du ciment	34
2.3. Organisation du processus de fabrication de ciment	35
2.3.1 Matières premières	35
2.3.2 Planning de réalisation	36
2.3.3 Perspectives	36
2.3.3 Rentabilité	36
2.3.4 Satisfaction des besoins locaux et régionaux	37
2.4 Alimentation de la cimenterie en énergie électrique	37
2.5 Charges électriques	38
2.5.1. Choix de la méthode de calcul des charges électrique	38
2.2.2 Calcul des charges électriques	40

Chapitre 03 Types des lignes électriques.

Introduction

3.1. Constitution du réseau électrique	44
3.2 Lignes des transports	44
3.2.1 Les Lignes aériens	44
3.2.1.1 Les avantages des lignes aériennes	45
3.2.1.2 Les inconvénients des lignes aériennes	45
3.2.2 Les lignes souterraines	45

Sommaire

3.2.2.1 Les avantages	46
3.2.2.2 Les inconvénients	46
3.3 Réseaux HTA souterrains	46
3.4 Les câbles électriques souterrains	47
3.4.1 Les câbles souterrains THT	47
3.4.2 Le câble souterrain Moyen Tension MT	47
3.4.3 Câble Tripolaire	48
3.5 Les câbles Souterraines BT	48
3.5.1 Conducteurs de phases	48
3.5.2 Conducteur neutre	49
3.5.3 Classification des câbles souterrains	49
3.5.4 Pertes d'énergie des câbles souterrains	49
3.5.1 Conducteurs de phases	49
3.5.2 Conducteur neutre	49
3.5.3 Classification des câbles souterrains	50
3.5.4 Pertes d'énergie des câbles souterrains	50
3.6 Comparaison ligne aérienne et câble souterrain	51
3.7 Technologies de câbles HVDC	52
3.7.1. Développement des câbles HVDC	52
3.7.1.1 Câbles papier imprégné à isolation solide	52
3.7.1.2 Câbles à isolant synthétique extrudés	53
3.8 Dimensionnement et configuration des câbles	55

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et base tension.

Introduction	57
4.1 Principe général guidant le choix d'une section de conducteurs pour une ligne moyenne et basse tension	58
4.1.1 Aspects généraux	59
4.1.2 Aspects économiques	59
4.1.3 Autres critères	60
4.2 Choix de la section en tenant compte des chutes de tension	62

Sommaire

4.3 CALCUL DES COÛTS TOTAUX	63
4.3.1 Le coût total	63
4.4 Calculer la section technique	64
4.4.1 Choix de la tension de la ligne	64
4.5 Valeur des impédances de ligne	66
4.6 Calcul la section économique	67
Conclusion générale	70

Résumé

Bibliographie

Liste des figures

Chapitre 01 Structure générale des réseaux électriques.

Figure (1.1)	Réseau électrique global.	4
Figure (1.2)	Interconnexion d'un réseau.	5
Figure (1.3)	La structure d'un réseau de distribution.	6
Figure (1.4)	Centrale thermique.	7
Figure (1.5)	Centrale nucléaire.	8
Figure (1.6)	L'éolienne.	9
Figure (1.7)	Installation photovoltaïque.	10
Figure (1.8)	Centrale hydraulique.	10
Figure (1.9)	Les tensions normalisées.	11
Figure (1.10)	Réseau de distribution aérien.	13
Figure (1.11)	Double dérivation.	13
Figure (1.12)	Coupure d'artère.	14
Figure (1.13)	Générateur électrique.	15
Figure (1.14)	Générateur a courant alternatif.	15
Figure (1.15)	Générateur électrostatique.	16
Figure (1.16)	Pile.	17
Figure (1.17)	Générateur thermocouple.	17
Figure (1.18)	Générateur thermo-ionique.	18
Figure (1.19)	Cellule photovoltaïque.	18
Figure (1.20)	Pile à combustible.	19
Figure (1.21)	Générateur magnétohydrodynamique.	20
Figure (1.22)	Ligne électrique.	20
Figure (1.23)	Transformateur de puissance.	21
Figure (1.24)	Poste électrique.	22
Figure (1.25)	Simple antenne.	23
Figure (1.26)	Double antenne.	23
Figure (1.27)	Double antenne - double jeu de barres.	24
Figure (1.28)	1 jeu de barres, 1 source d'alimentation.	25
Figure (1.29)	Jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation.	26
Figure (1.30)	2 demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentations.	26
Figure (1.31)	1 jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation.	27
Figure (1.32)	2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources	27

Liste des figures

	d'alimentation.	
Figure (1.33)	2 doubles jeux de barres couplés entre eux.	28
Figure (1.34)	Radial en double antenne sans couplage.	28
Figure (1.35)	Radial en double antenne avec couplage en boucle ouvert.	29
Figure (1.36)	Radial en double antenne avec couplage en boucle fermé.	29
Figure (1.37)	En double dérivation.	30
Figure (1.38)	L'alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	30
Figure (1.39)	L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage.	31
Figure (1.40)	L'alimentation des tableaux BT par une triple alimentation avec couplage.	32
Figure (1.41)	1er exemple 1 transformateur et 1 alternateur.	32
Figure (1.42)	2ème exemple : 2 transformateurs et 2 alternateurs.	33
Chapitre 02 Description de l'entreprise.		
Figure (2.1)	Schéma des étapes de fabrication du ciment.	35
Figure (2.2)	Schéma de distribution de l'énergie électrique de la cimenterie de El-Ma -Labiod.	38
Figure (2.3)	Valeurs moyenne de X_c et X_l .	39
Figure (2.4)	Resistance et capacité de quelque conducteur.	40
Chapitre 03 Types des lignes électriques.		
Figure (3.1)	Constitution d'un câble souterrain isolé au polyéthylène réticulé.	47
Figure (3.2)	Câble unipolaire.	48
Figure (3.3)	Constitution d'un câble Tripolaire.	49
Figure (3.4)	Câble souterrain BT.	50
Figure (3.5)	Coupure verticale d'un câble souterrain.	50
Figure (3.6)	Câbles à isolant synthétique extrudés.	55
Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et base tension.		
Figure (4.1)	Logigramme de calcul de la section technique et économique	62
Figure (4.2)	Représentation des couts d'installation et d'exploitation en fonction de la section électrique du câble.	69

Liste des Tableaux

Chapitre 01 Structure générale des réseaux électriques.

Tableau (1.1)	Les caractéristiques du générateur a courant alternatif.	15
Tableau (1.2)	Les caractéristiques du générateur électrostatique.	16
Tableau (1.3)	Les caractéristiques de la pile.	16
Tableau (1.4)	Les caractéristiques du générateur à thermocouple.	17
Tableau (1.5)	Les caractéristiques du générateur thermo-ionique.	18
Tableau (1.6)	Les caractéristiques du Cellule photovoltaïque.	18
Tableau (1.7)	Les caractéristiques de Pile à combustible.	19
Tableau (1.8)	Les caractéristiques de la génératrice magnétohydrodynamique.	20
Tableau (1.9)	Avantage et inconvénient du simple antenne.	23
Tableau (1.10)	Avantage et inconvénients de mode d'exploitation normal.	24
Tableau (1.11)	Avantage et inconvénients de mode d'exploitation perturbé (double antenne).	25

Chapitre 02 Description de l'entreprise.

Tableau (2.1)	Tableau des résultats de calcul des charges électriques de la cimenterie EL Ma- Labiod.	42
----------------------	--	-----------

Chapitre 03 Types des lignes électriques.

Tableau (3.1)	Les différents partis d'un câble souterrain	48
Tableau (3.2)	Les différents partis d'un câble souterrain	48

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et base tension.

Tableau (4.1)	Caractéristique du câble réactance inductive et réactance capacitive.	64
----------------------	--	-----------

Introduction

Générale

Introduction générale

Les investissements humains et matériels affectés aux réseaux électriques sont énormes. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout continuité du service [1].

Les lignes et les câbles de distribution d'énergie électrique moyenne tension MT constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs MT et BT [2].

Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes sont souvent exposées à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs.

Dans le réseau électrique la ligne joue un rôle très important dans la transmission de l'énergie électrique sur l'ensemble d'un territoire, elle représente dans le système électrique Ce que représente une veine dans un corps humain. Selon la longueur on distingue trois types de ligne, la ligne longue ; la ligne moyenne et la ligne courte. Cependant les calculs relative aux lignes sont très long et le risque de faire des erreurs est grand, le calcul avec l'outil informatique s'avère nécessaire.

L'énergie électrique se stocke difficilement, elle doit être disponible à tout instant. Depuis les sources de production jusqu'aux zones de consommation, elle emprunte un réseau de lignes aériennes et souterraines [3].

Les pertes électriques, dans les différents éléments du réseau, doivent non seulement être compensées par une production supplémentaire, par rapport à celle strictement nécessaire pour satisfaire la consommation proprement dite, mais également pouvoir être "acheminées" par le réseau depuis les centres de production jusqu'aux endroits où elles apparaissent.

Dans ce projet nous allons étudier :

Dans la première partie nous citerons l'architecture des réseaux électrique, la production d'électricité et les schémas d'alimentation.

Dans la deuxième partie nous parlerons de la description de la cimenterie d'EL-MALABIOD et les méthodes des charges électriques.

Introduction générale

Dans la troisième partie nous parlerons sur les lignes électriques quelle que soit les lignes aériennes ou les câbles souterrains.

Dans la dernière partie nous parlerons au calcul pour le choix des câbles MT et BT.

Chapitre

01

Introduction

L'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée, donc en permanence la production doit s'adapter à la consommation.

De ce fait ensemble production, acheminement, utilisation constitue un système complexe appelé réseau électrique. [4]

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

Le réseau est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques, qui permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production transport-consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble. [5]

Il ne suffit pas de produire le courant électrique dans les centrales, il faut aussi l'amener jusqu'à l'utilisateur final. Ainsi pour atteindre l'adéquation entre la production et la consommation, la structure électrique d'un pays est généralement décomposée en plusieurs niveaux correspondant à différents réseaux électriques. [8]

1.1. Organisation d'un réseau électrique

De façon très générique, un réseau électrique est toujours dissocié en quatre grandes parties [5]

1.1.1. Production

Elle consiste en la génération de l'ensemble de la puissance active consommée par le réseau tout entier. En grande majorité, les tensions associées à cette production sont produites sous la forme de systèmes triphasés par l'intermédiaire d'alternateurs entraînés à partir de divers types de sources d'énergie dites « primaires ».

1.1.2. Transport

Il consiste à acheminer les puissances produites par les unités de production auprès des lieux de consommation.

Les grandes centrales étant en général groupées autour des fleuves, des cours d'eau et des océans, le « grand transport » consiste à parcourir de longues distances en direction des extrémités des territoires nationaux.

L'ordre de grandeur de ces distances impose, entre autre, le fait de véhiculer l'énergie électrique sous très haute tension.

1.1.3. Distribution

Elle consiste en un maillage fin du territoire permettant à chaque utilisateur d'être à proximité d'une liaison au réseau.

❖ S : tensions du transport aux basses tensions de la consommation.

C'est l'ultime ramification des lignes et des installations qui permet également un passage progressif des très haute

1.1.4. Consommation

Chaque récepteur électrique connecté au réseau consomme une puissance active et une puissance réactive.

La consommation domestique, qui est généralement majoritaire, est très ramifiée et se fait sous basse tension souvent monophasée 220 V ou triphasé 380 V.

Certains « clients » industriels (grosses usines, ferroviaire, etc.) sont directement reliés en moyenne, haute ou très haute tension.[6]

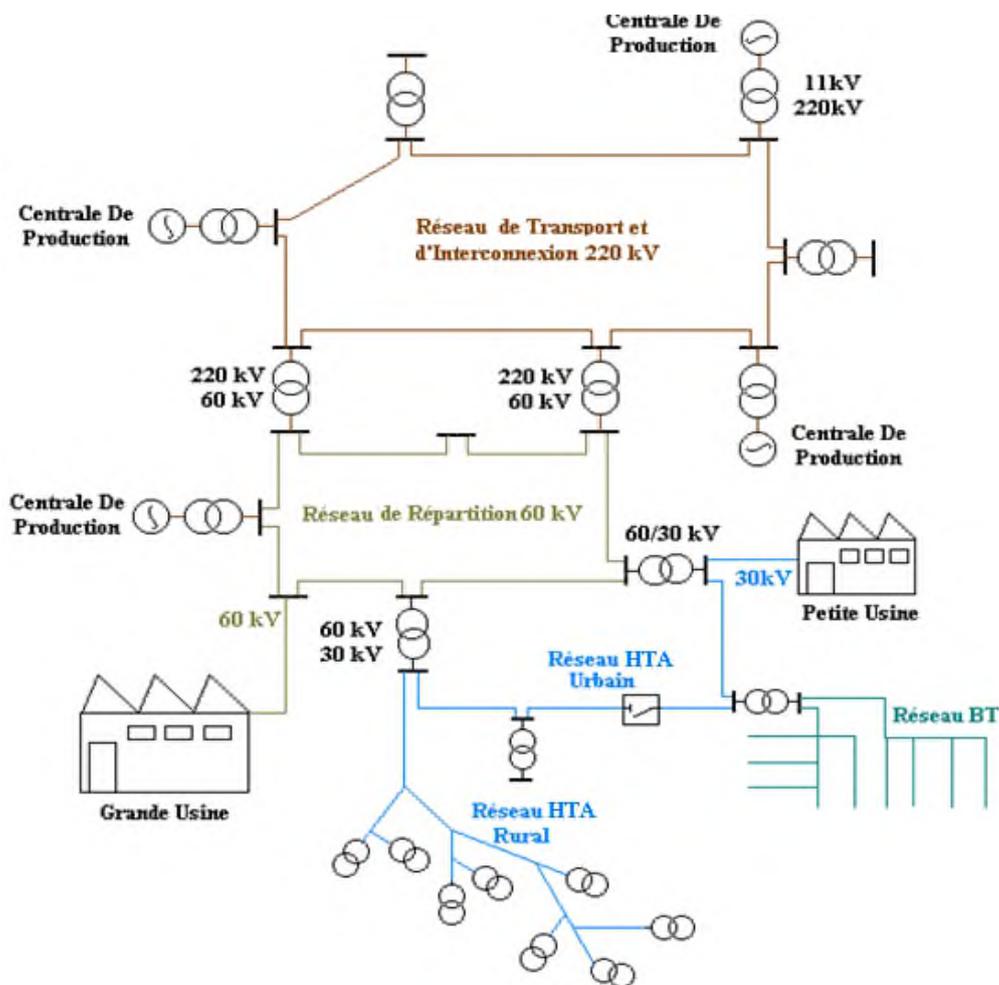


Figure (1.1) Réseau électrique global.

1.2. Les liaisons des réseaux électriques

1.2.1. Réseaux de transport et d'interconnexion

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission : De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport), De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),

La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 KV.

Neutre directement mis à la terre.

Réseau maillé.[5]



Figure (1.2) Interconnexion d'un réseau.

1.2.2. Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.[7]

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres.

Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation.

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

Chapitre 01 Structure générale des réseaux électriques

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

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

I.2.3. Réseaux de distribution

La fonction principale de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de répartition aux points de moyenne consommation. Ces points de consommation sont: Soit du domaine public, avec accès aux postes de distribution publique MT/BT. Soit du domaine privé, avec accès aux postes de livraison aux abonnés à moyenne consommation.

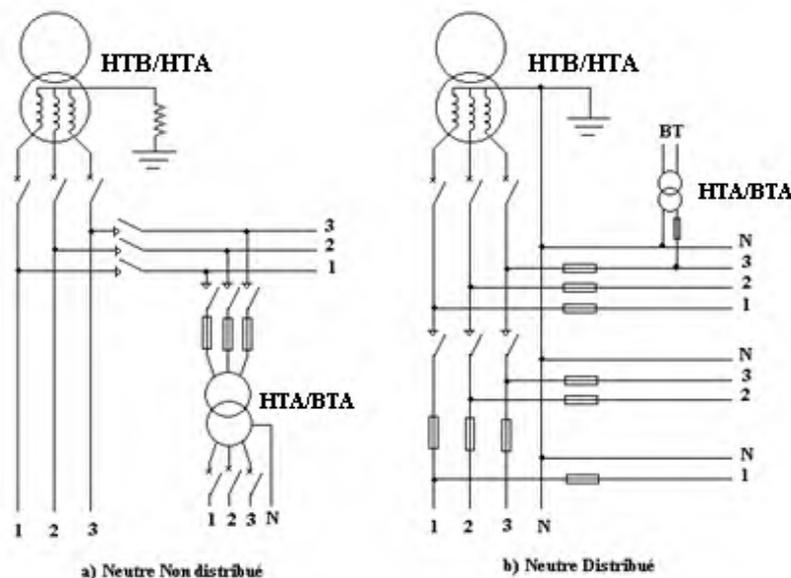


Figure (1.3) La structure d'un réseau de distribution.

1.3. Production de l'énergie électrique

Une centrale (de production d'énergie) électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité.

Les centrales électriques transforment différentes sources d'énergie naturelles en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains.

Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs.

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz).
- Les centrales nucléaires.
- Les centrales hydroélectriques.
- Les centrales solaires ou photovoltaïques.
- Les centrales éoliennes.

1.3.1. Les centrales thermiques

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur.

Cette source peut être un combustible brûlé (tels un gaz naturel, certaines huiles minérales, charbon, déchets industriels, déchets ménager).

Les centrales thermiques se répartissent en trois grandes catégories, selon la nature de leurs sources de chaleur.[9]

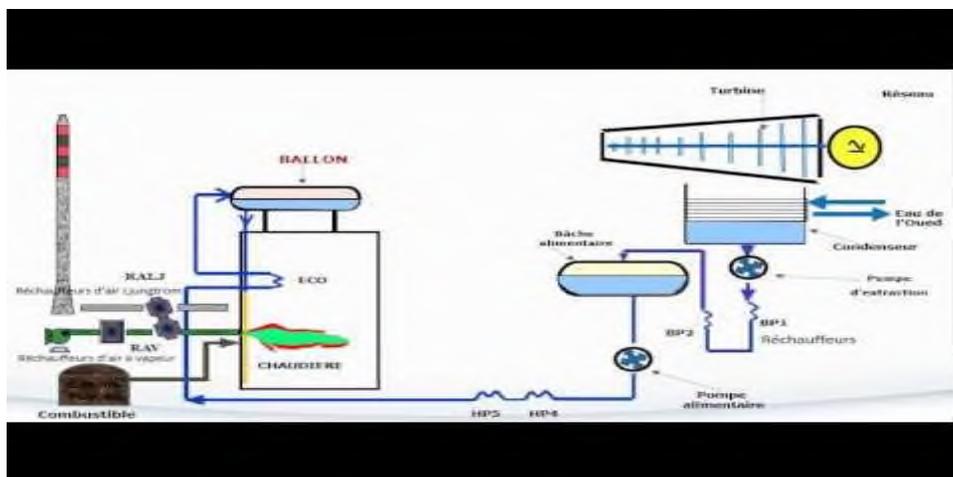


Figure (1.4) Centrale thermique.

1.3.2. Les centrales nucléaires

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur chaudière est un réacteur nucléaire.

L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée.

Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale.

Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident.

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

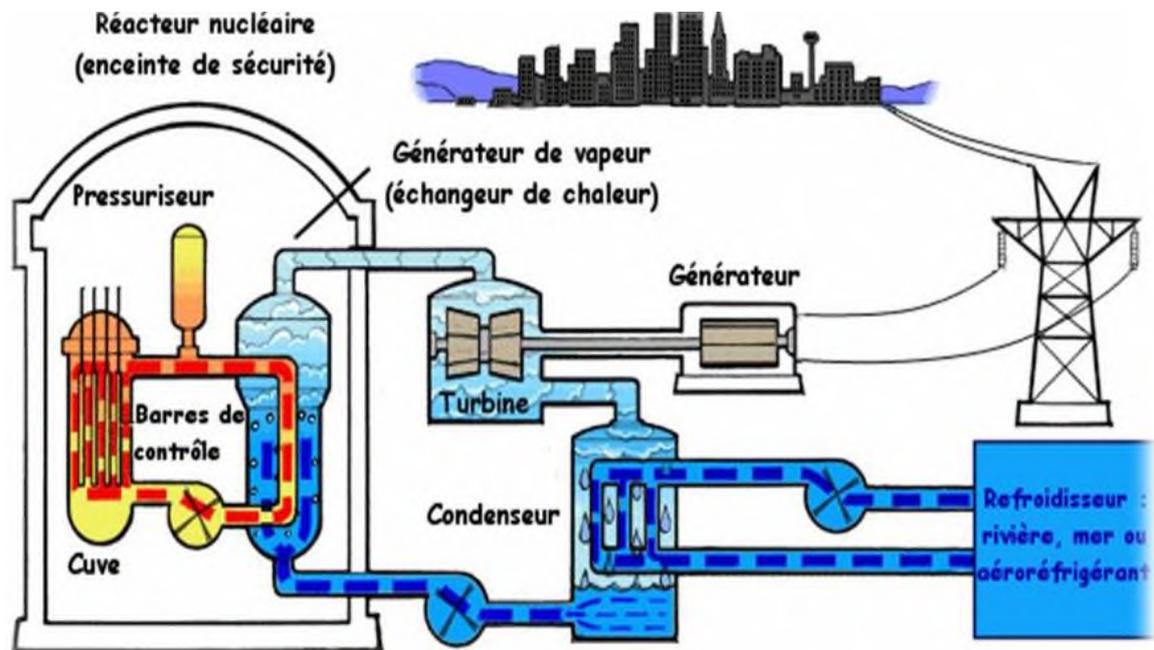


Figure (1.5) Centrale nucléaire.[6]

1.3.3. Centrales éoliennes

L'énergie du vent provient de celle du soleil qui chauffe inégalement les masses d'air, provoquant des différences de pression atmosphérique et donc des mouvements de circulation de l'air [9]

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, disponible partout (en quantités différentes) et bien sûr sans rejet polluant dans l'atmosphère.

L'éolienne transforme la puissance de translation du vent en puissance de rotation.

Un alternateur est mécaniquement couplé à l'axe des pales (rotor) pour produire les tensions triphasées.

Un dispositif de régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante compatible avec la fréquence du réseau (50Hz),

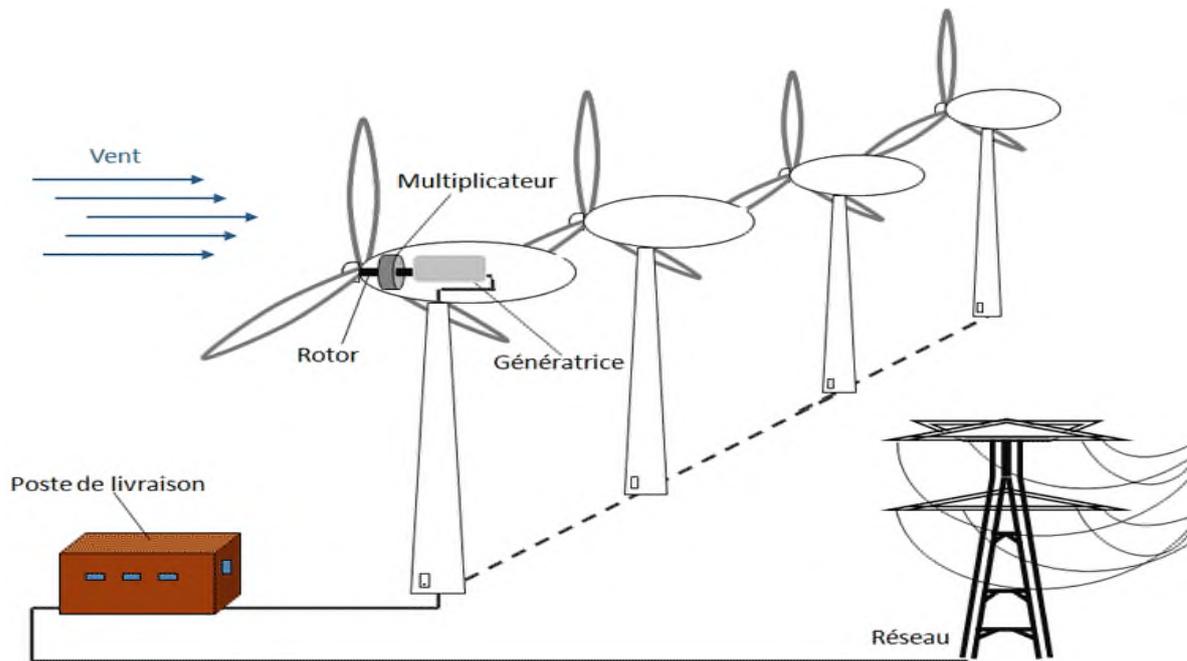


Figure (1.6) L'éolienne.

1.3.4. Centrale photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque

Qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires.

Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.

Pour la production d'énergie, une installation photovoltaïque nécessite la mise en place d'une chaîne de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique basée sur l'effet photovoltaïque.

Quelle que soit son architecture, cette chaîne de conversion peut se décomposer :

- En fonction de bases : production, conversion et interface réseau.
- En fonction auxiliaires : protection, supervision et stockage.

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque.

Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.



Figure (1.7) Installation photovoltaïque.[5]

1.3.5. Les centrales hydroélectriques

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique.

L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique.

Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique

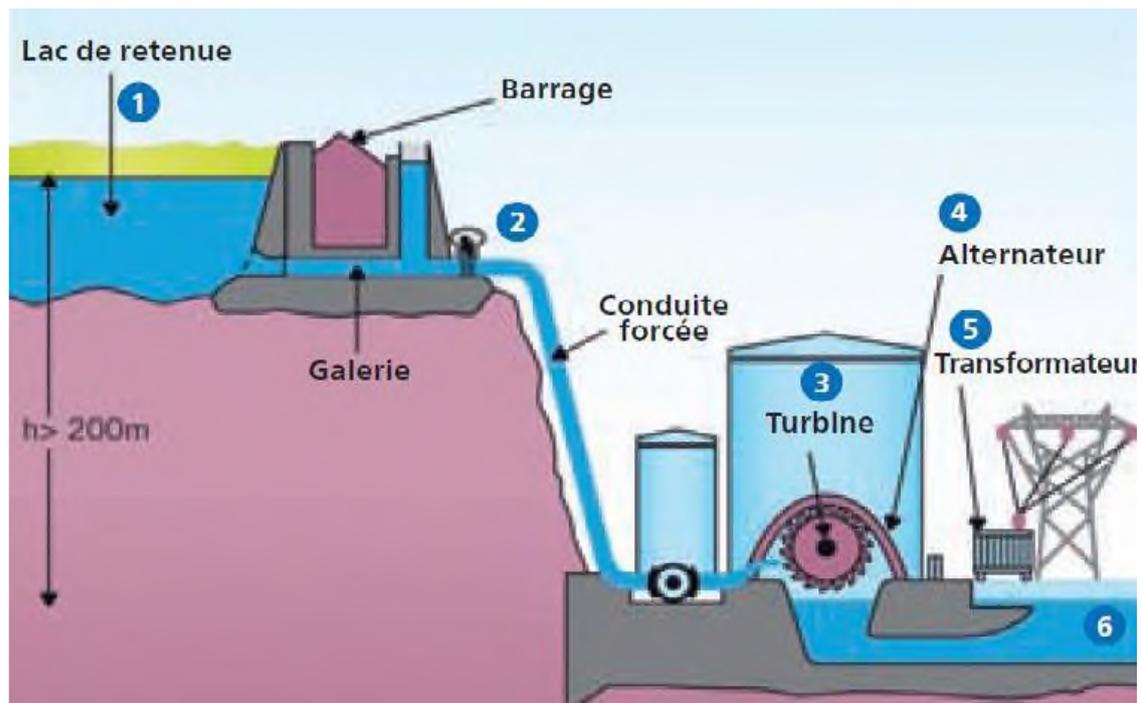


Figure (1.8) Centrale hydraulique.[2]

1.4 Tensions normalisées

Chaque réseau électrique est organisé à partir de quelques niveaux de tension normalisés, le respect, de ces valeurs précises (à quelques % près) est une nécessité pour exploiter les structures de transport en assurant leur sûreté, le respect des plages contractuelles, et de façon générale afin de réduire les coûts et les contraintes sur les appareillages.

1.4.1. Les classifications des tensions du réseau électrique

On peut classer la tension d'un réseau de :

-Très basses tensions (TBT)

Tensions inférieures à 50 volts et plus généralement à 30 volts, elles sont utilisées pour les jouets électriques et dans des locaux très humides.

-Les basses tensions (BT)

Tensions de 50 à 1000 volts, elles sont utilisées pour les appareils domestiques et plupart des appareils industriels.

-Les moyennes tensions (MT)

Tensions comprises entre 1 et 35 kV, elles sont utilisées pour le transport d'énergie à moyenne distance et les réseaux industriels.

-Les hautes tensions (HT)

Tensions de 35 à 275 kV, elles sont utilisées pour le transport d'énergie à long distance et au transit élevés.

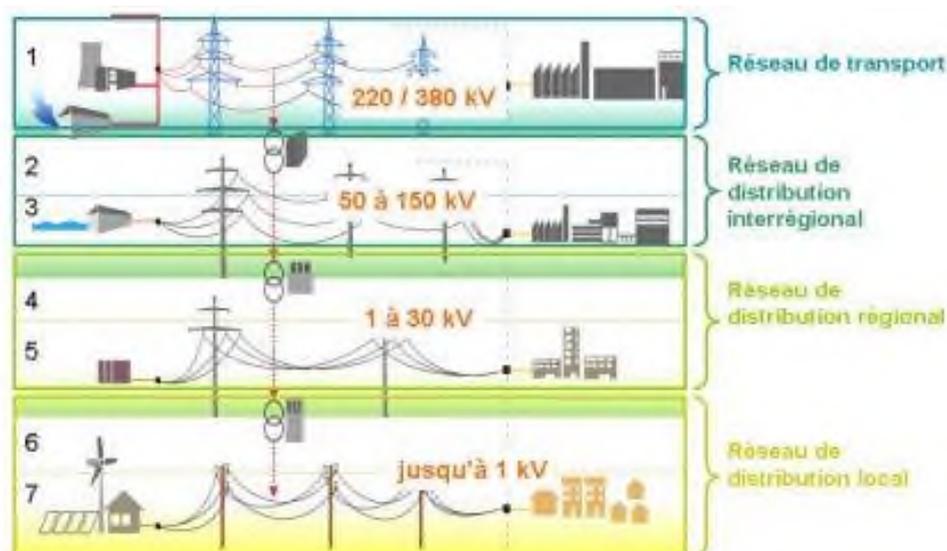


Figure (1.9) Les tensions normalisées.

1.5. Architecture des réseaux de distribution

Il existe deux principaux systèmes de distribution de par le monde : le système nord-américain à neutre distribué et le système européen à neutre non distribué.

La conception européenne se distingue de la doctrine nord-américaine essentiellement par le fait qu'au poste source HTB/HTA le point neutre est relié à la terre par une impédance, limitant ainsi le courant de défaut à la terre.

Ce choix résulte notamment de considérations axées sur la fiabilité et la sécurité des personnes.

En général, les structures développées dans le monde peuvent s'apparenter à l'une ou l'autre de ces doctrines.

On distingue par ailleurs : les réseaux ruraux de types aériens et les réseaux urbains de types souterrains.

1.5.1. LES RESEAUX DE DISTRIBUTION AERIENS

Les réseaux de distribution aériens, associés aux zones rurales de faible densité de charge, sont de structure arborescence boucle mais exploitée en radial.

Les boucles peuvent se situer entre les postes HTB/HTA ou entre départs voisins du même poste source.

Le départ type est constitué d'une ossature principale de section relativement forte et des dérivations de section plus faible alimentant des grappes de plusieurs postes HTA/BTA.

Au poste source, un disjoncteur MT (Moyen Tension), à cycle de réenclenchement rapides

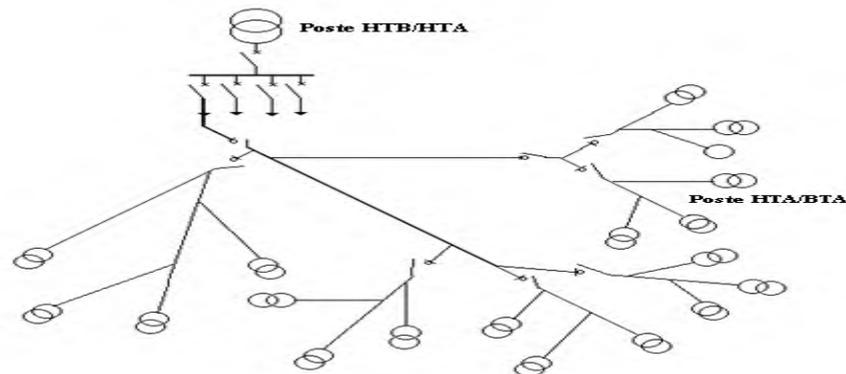


Figure (1.10) Réseau de distribution aérien.[11]

1.5.2. Les réseaux de distribution souterrains

La structure des réseaux de distribution souterrains, employés dans des zones urbanisées à forte densité de charge, est caractérisée par le nombre de voies d'alimentation utilisables pour desservir une même charge (poste HTA/BTA).

Les structures à deux voies d'alimentation sont les plus fréquentes. On y distingue : la structure en coupure d'artère et la structure en double dérivation.

a) Structure en double dérivation

La façon la plus simple d'obtenir deux voies distinctes d'alimentation consiste à doubler le réseau radial à partir du jeu de barres du poste source HTB/HTA figure (1.11).

Chaque poste de transformation HTA/BTA est raccordé à deux câbles par un dispositif inverseur.

En cas de défaut sur le premier câble de travail, il peut être basculé automatiquement sur le deuxième câble de secours.

C'est une structure difficilement exploitable manuellement mais facilement automatisable malgré les coûts.

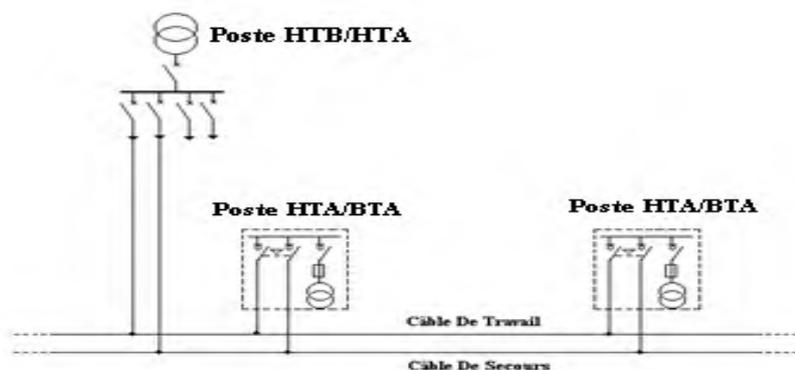


Figure (1.11) Double dérivation.

b) Structure en coupure d'artère

Dans cette architecture (figure 1.5), un câble part d'un poste source HTB/HTA, passe successivement par les postes HTA/BTA à desservir avant de rejoindre soit un autre poste source HTB/HTA, soit un départ différent du même poste source HTB/HTA, soit un câble secours.

Au niveau des postes HTA/BTA, des interrupteurs sont placés de part et d'autre des postes sources.

Ils sont tous normalement fermés sauf un qui permet l'exploitation radiale.

Ainsi en cas de défaut sur un tronçon de câble, on peut l'isoler en ouvrant les deux interrupteurs qui l'encadrent.

La fermeture de l'interrupteur normalement ouvert permet la réalimentation du reste des charges non touchées par le défaut.

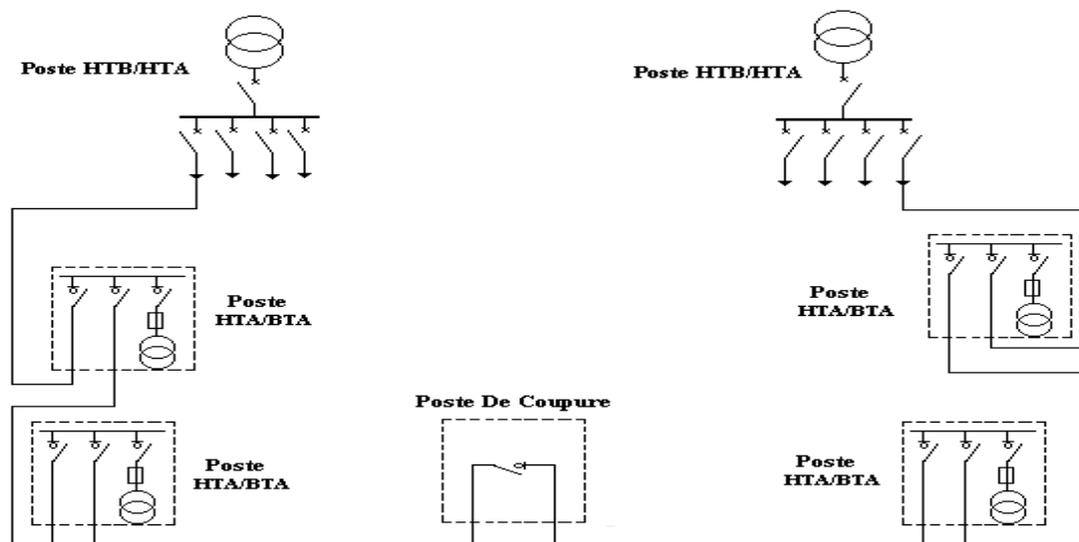


Figure (1.12) Coupure d'artère.

1.6. Les éléments constitutifs d'un réseau d'énergie

1.6.1. Les sources d'énergie [11]

La source ou le générateur est un élément de base du réseau électrique. Il constitue le cœur de l'ensemble, sa fonction est de transformer l'énergie d'origine (hydraulique ou thermique ...) en énergie électrique.

Combustion interne ; l'alternateur est maintenu à vitesse sensiblement constante par son moteur d'entraînement à l'aide d'un système asservi de manière à développer une fréquence pratiquement constante indépendamment de la charge.

Comme :

- Générateur a courant alternatif.

- Générateur magnétohydrodynamique.
- Générateur a thermocouple.
- Pile et autres source.



Figure (1.13) Générateur électrique.[4]

a) Générateur a courant alternatif

Principe de fonctionnement

Une tension est induite entre les bornes d'un conducteur l'orsque il se déplace dans un champ magnétique.

Energie primaire	mécanique
Tension	6V a 25KV
Puissance	10Wa 2000 KW
Rendement	20 à 99 %

Tableau (1.1) Les caractéristiques du générateur a courant alternatif.

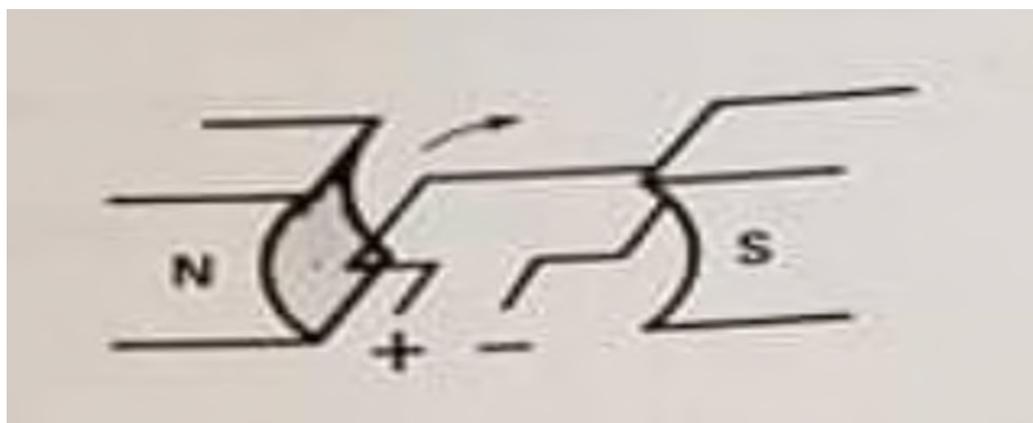


Figure (1.14) Générateur a courant alternatif.

a) Générateur électrostatique

Principe de fonctionnement

Une courroie mobile amène vers une coupole C, les charges positives provenant d'une source S. Une haute tension positives s'établissent entre la coupole et la terre.

Energie primaire	Mécanique
Tension	100 KV à 10 Mv
Puissance	10 MW à 10 KW
Rendement	5% à 30%

Tableau (1.2) Les caractéristiques du générateur électrostatique.

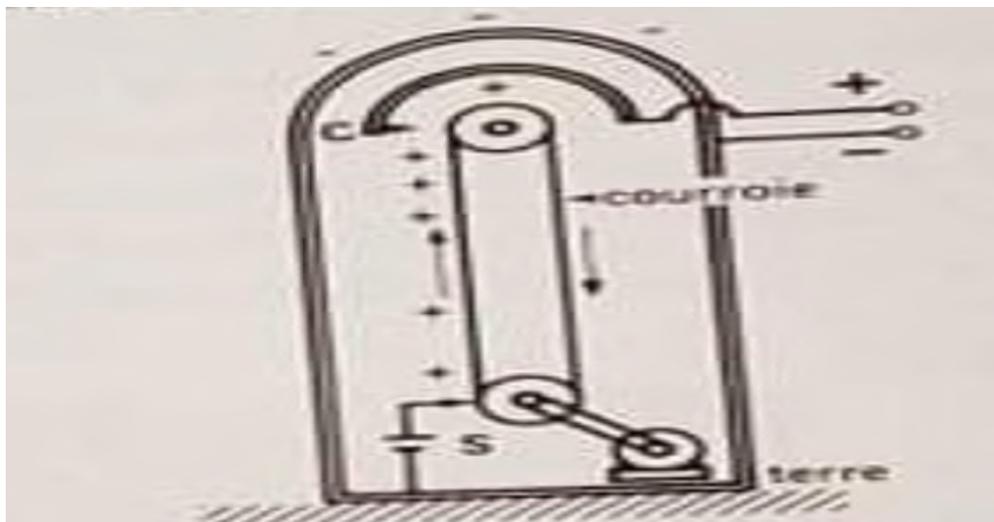


Figure (1.15) Générateur électrostatique.

a) Pile

Principe de fonctionnement

Deux plaque de matériaux différents placées dans un électrolyte approprié libèrent de l'énergie électrique par une transformation de leur structure chimique.

Energie primaire	Thermique
Tension	1 V a 2 V
Puissance	1 KJ a 1 MJ
Rendement	40% à 80%

Tableau (1.3) Les caractéristiques de la pile.

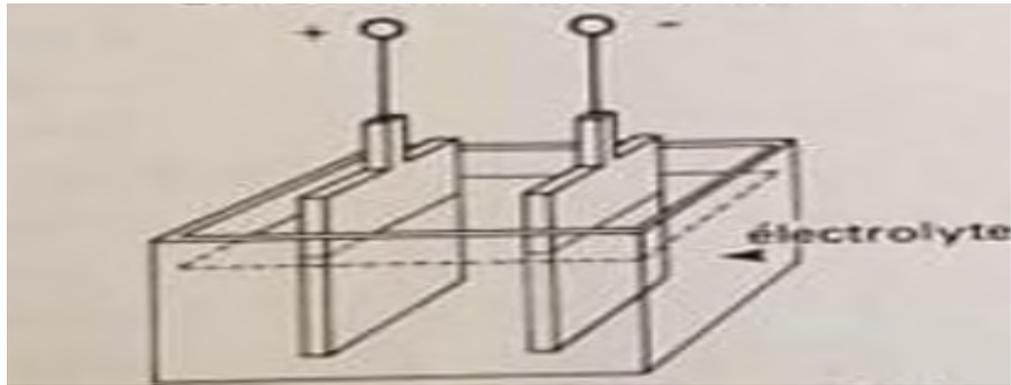


Figure (1.16) pile.

a) Générateur a thermocouple

Principe de fonctionnement

Lorsque les points de jonction J_1 et J_2 de deux métaux différents sont garde a des températures différentes, un transfert d'électrons s'effectue et une tension apparait entre les bornes A et B.

Energie primaire	chimique
Tension	1 mV a 200 m V
Puissance	1 mW a 1 w
Rendement	3% a 10%

Tableau (1.4) Les caractéristiques du générateur à thermocouple.

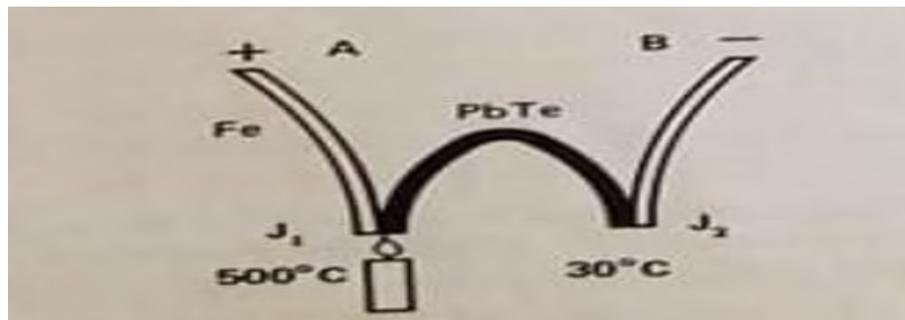


Figure (1.17) Générateur thermocouple.

b) Générateur thermo-ionique

Principe de fonctionnement

En chauffent un métal A une très haute température, les électrons libres deviennent agitées a un point tel qu'ils quittent le métal pour s'accumuler sur une plaque B. Une différence de potentiel se crée entre les deux plaques.

Energie primaire	Thermique
Tension	0.5 V a 3 V
Puissance	1 mW a 100 W
Rendement	1% a 5%

Tableau (1.5) Les caractéristiques du générateur thermo-ionique.

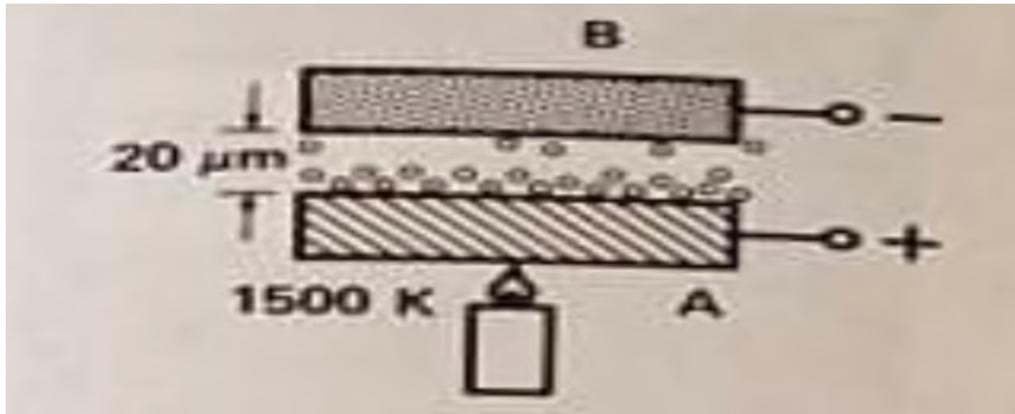


Figure (1.18) Générateur thermo-ionique.

c) Cellule photovoltaïque

Principe de fonctionnement

L'orque une jonction p-n au silicium (semblable a la jonction d'une diode) reçoit de l'énergie radiante, un transfert se produit et une tension apparait entre les bornes A et B.

Energie primaire	énergie radiante
Tension	0.3 V a 0.9 V
Puissance	100 mW a 100 W
Rendement	8 % a 14%

Tableau1.6 Les caractéristiques du Cellule photovoltaïque.

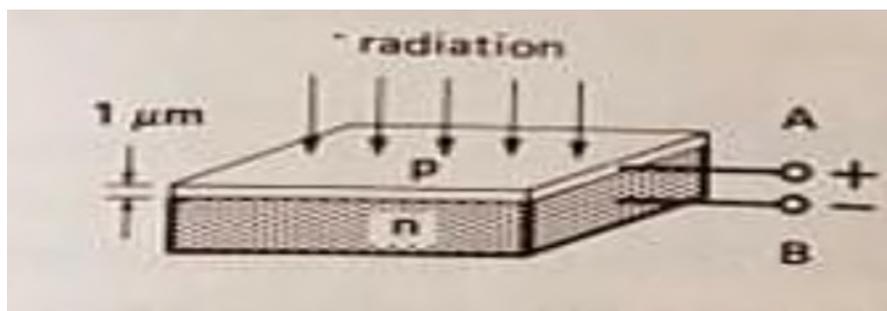


Figure (1.19) Cellule photovoltaïque.

a) Pile à combustible

Principe de fonctionnement

La combinaison chimique de l'oxygène avec un produit comme le pétrole ou l'hydrogène libère toujours une quantité d'énergie habituellement, cette énergie apparaît sous forme de chaleur lorsque la combinaison de ces produits se fait par combustion.

La pile à combustible permet à ces produits de se combiner chimiquement mais, au lieu de libérer de l'énergie thermique, c'est de l'énergie électrique qui apparaît.

Energie primaire	chimique
Tension	0.3 V a 0.9 V
Puissance	10 W à 100 KW
Rendement	30 % a 70%

Tableau (1.7) Les caractéristiques de Pile à combustible.

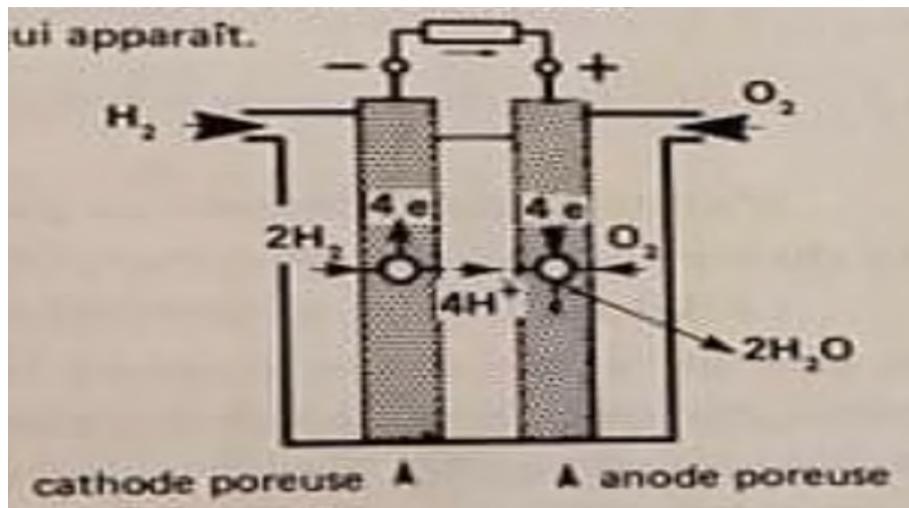


Figure (1.20) Pile a combustible.

a) Générateur magnétohydrodynamique

Principe de fonctionnement

Un gaz ionisé à très haute température (appelé plasma) est soufflé à grande vitesse entre les pôles d'un électro-aimant. Une tension apparaît entre les deux plaques qui touchent les parois du jet.

Energie primaire	thermique/mécanique
Tension	100 V a 5 K V
Puissance	10 KW a 100 MW
Rendement	15 % a 35%

Tableau (1.8) Les caractéristiques de la génératrice magnétohydrodynamique.

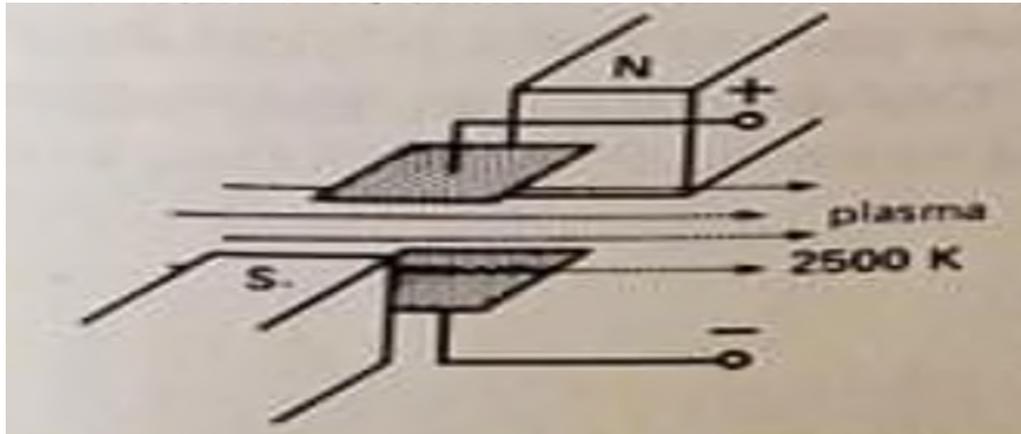


Figure (1.21) Générateur magnétohydrodynamique.

1.6.2. Les lignes électriques

Une ligne de transport se compose de conducteurs, d'isolateurs et de supports. Le rôle fondamental d'une ligne est de transporter l'énergie électrique. Elle doit posséder les caractéristiques de base suivantes :

- La tension doit demeurer constante sur toute la longueur de la ligne et pour toutes les charges entre zéro et la charge nominale.
- Les pertes doivent être faibles afin que la ligne possède un bon rendement.
- Les pertes joules ne doivent pas surchauffer les conducteurs.[13]



Figure (1.22) : Ligne électrique.

1.6.3. Les transformateurs de puissance

Le transformateur de puissance reçoit l'énergie électrique de l'alternateur et élève la tension en vue du transport, le bobinage primaire sera donc à la même tension que l'alternateur tandis que la tension du secondaire dépendra de la ligne utilisée pour le transport.[2]

On trouve sur les réseaux électriques deux types de transformateurs de puissance :
 Les autotransformateurs qui n'ont pas d'isolement entre le primaire et le secondaire. Ils ont un rapport de transformation fixe quand ils sont en service, mais qui peut être changé si l'autotransformateur est mis hors service

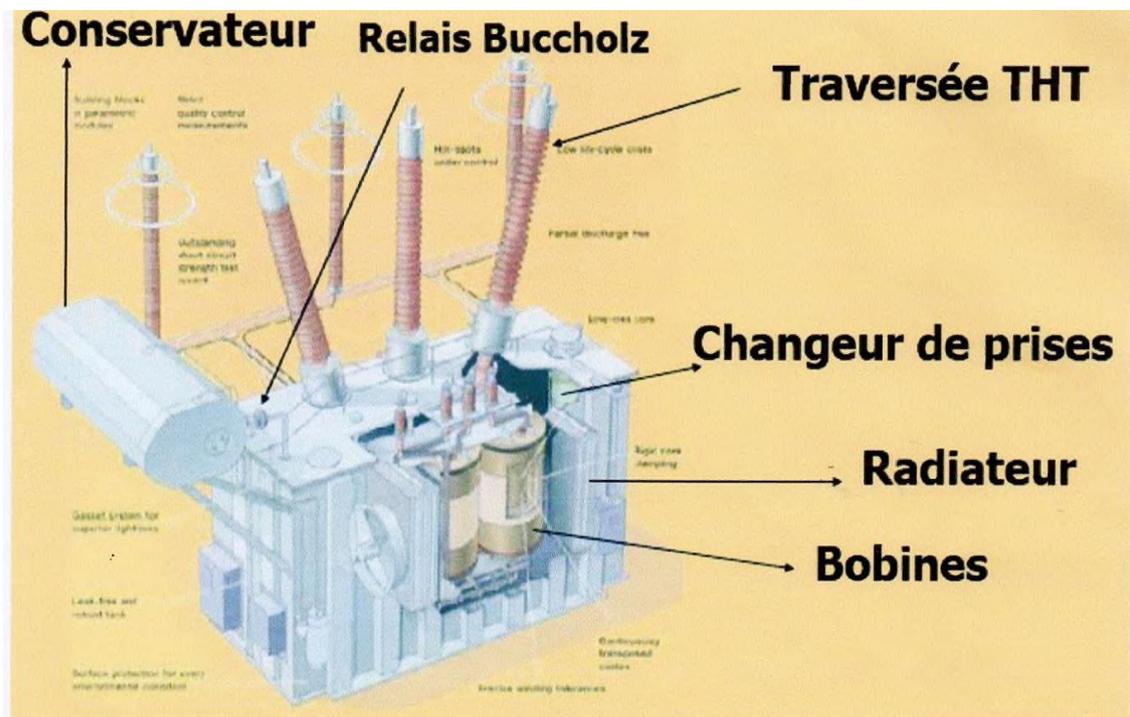


Figure (1.23) Transformateur de puissance.

1.6.4. Les postes électriques

Un poste électrique est un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et la distribution d'électricité.

Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission, puis de la redescendre en vue de sa consommation par les utilisateurs.

Les postes électriques se trouvent donc aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution.

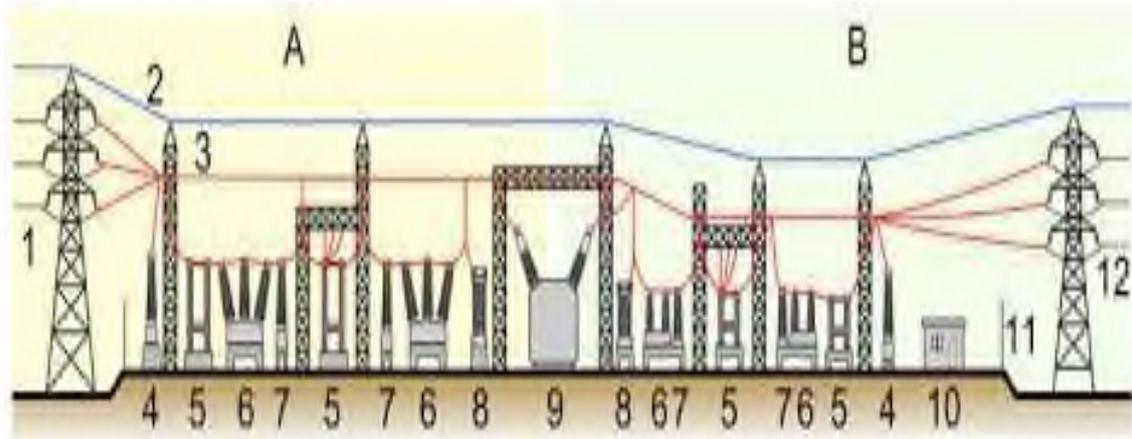


Figure (1.24) Poste électrique.

1.6.4.1. Les postes de livraison HTB

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

- D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- D'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HTA.

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants : [11]

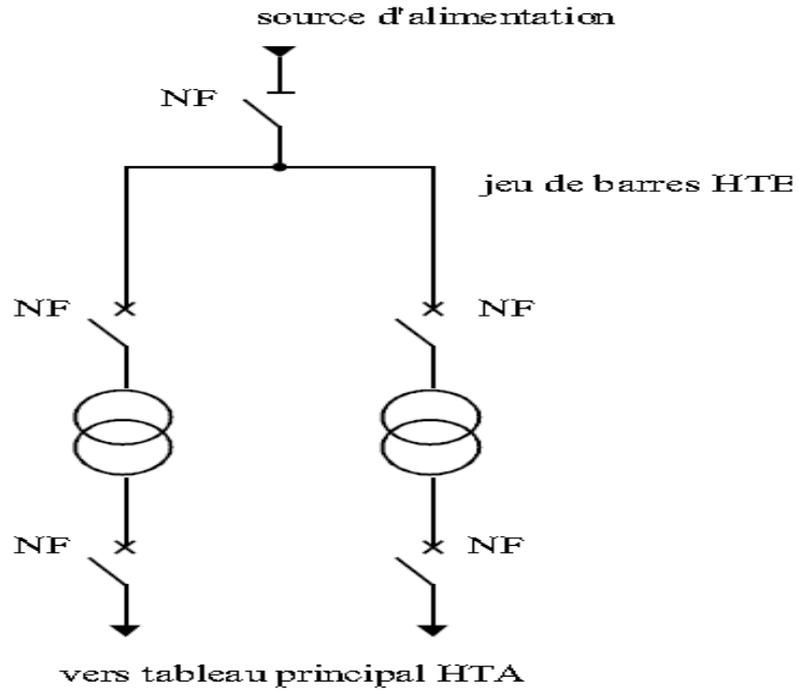


Figure (1.25) Simple antenne.

Avantage	Inconvénient
Coût minimal	Disponibilité faible.

Tableau (1.9) Avantage et inconvénient du simple antenne.

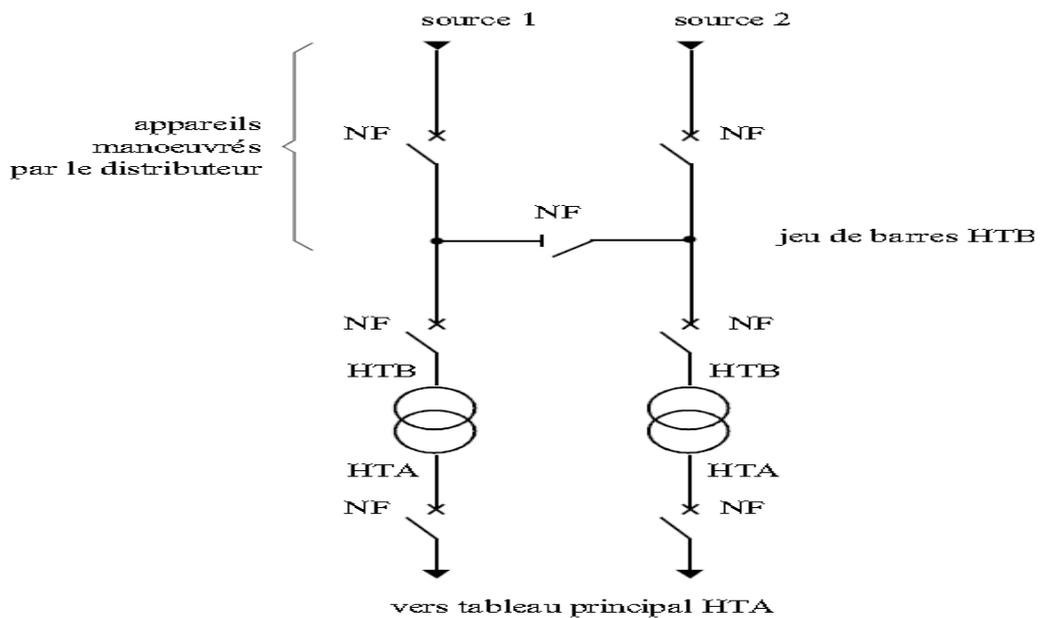


Figure (1.26) Double antenne.

Mode d'exploitation

Normal

Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage.

Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.

Perturbé

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

Avantage	Inconvénients
<p>- Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.</p> <p>- Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci.</p>	<p>- solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.</p> <p>- ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance de celui-ci.</p>

Tableau (1.10) Avantage et inconvénients de mode d'exploitation normal.

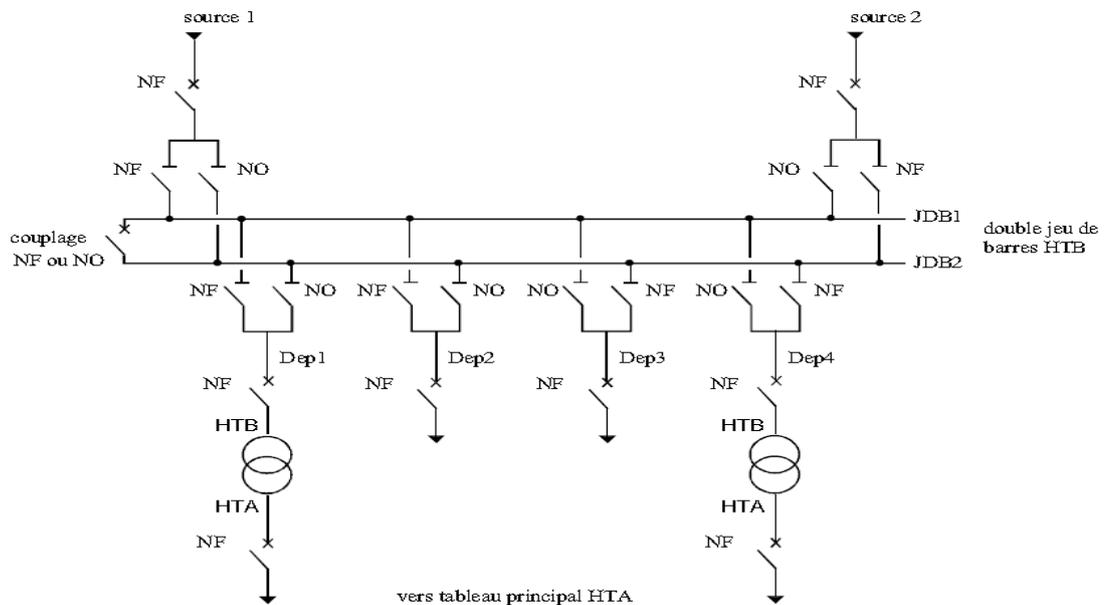


Figure (1.27) Double antenne - double jeu de barres.

Mode d'exploitation

Normal

La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2.

La source 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 et

Dep4.

Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

Perturbé

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

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

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

Tableau (1.11) Avantage et inconvénients de mode d'exploitation perturbé (double antenne).

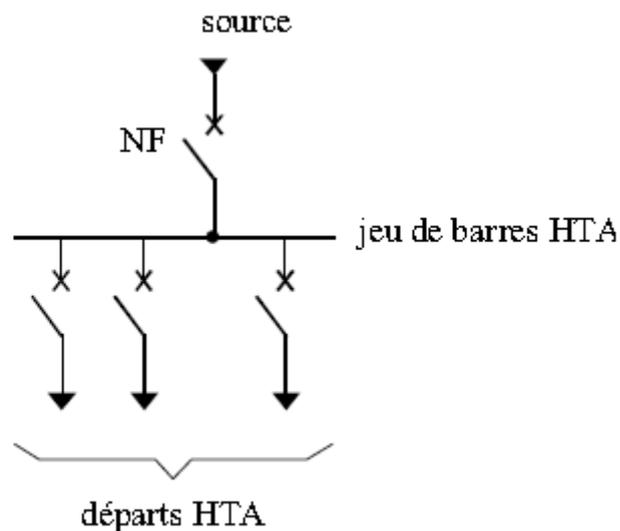


Figure (1.28) 1 jeu de barres, 1 source d'alimentation.

Fonctionnement

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

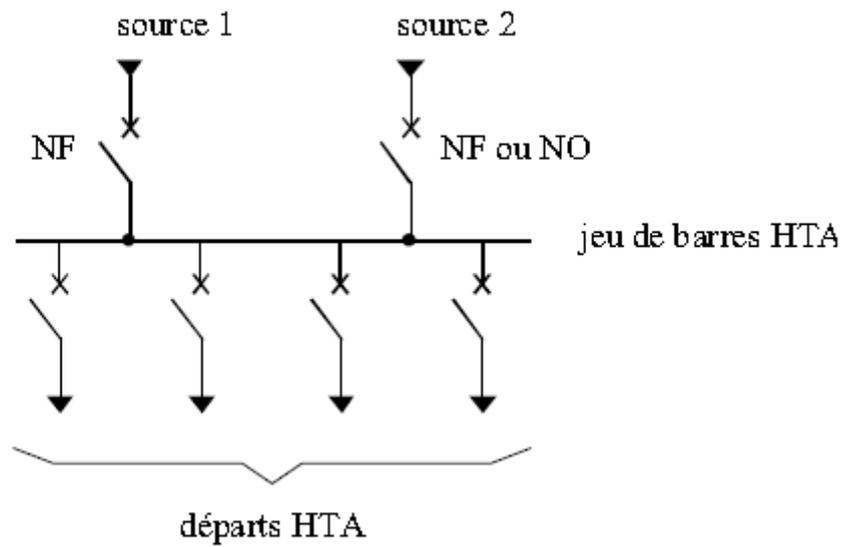


Figure (1.29) Jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation.

Fonctionnement

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

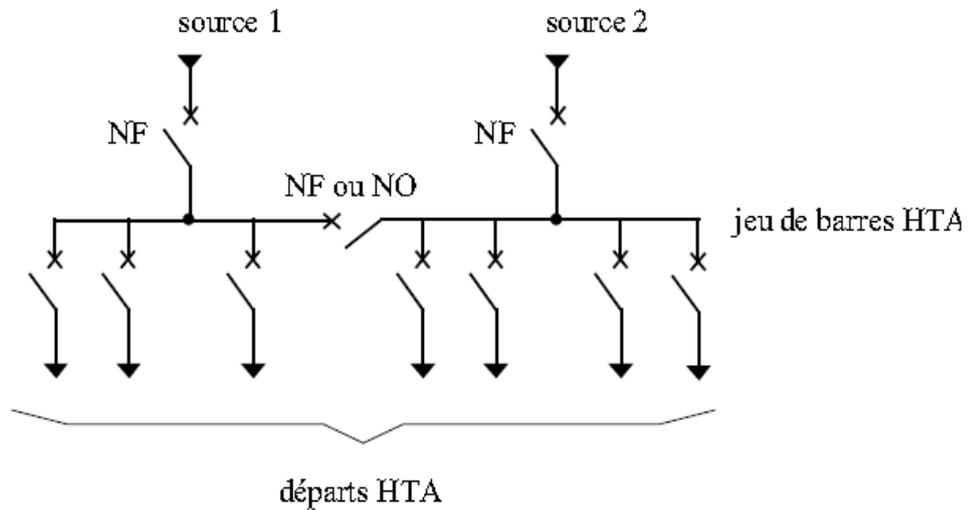


Figure (1.30) 2 demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentations.

Fonctionnement

Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert. S'il est ouvert, chaque source alimente un demi - jeu de barres. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé et l'autre source alimente les 2 demi-jeux de barres.

En cas de défaut sur un demi jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), une partie seulement des départs n'est plus alimentée.

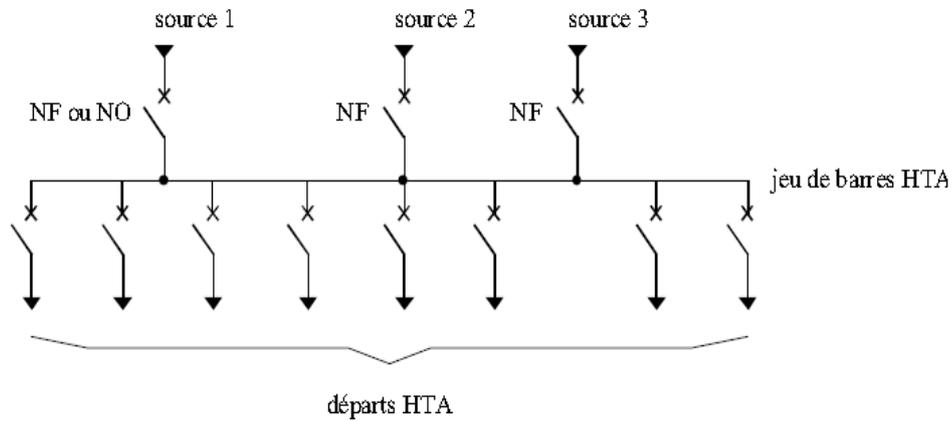


Figure (1.31) 1 jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation.

Fonctionnement

Les 3 sources peuvent fonctionner en parallèle ou l'une en secours des deux autres. En cas de défaut sur le jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), les départs ne sont plus alimentés

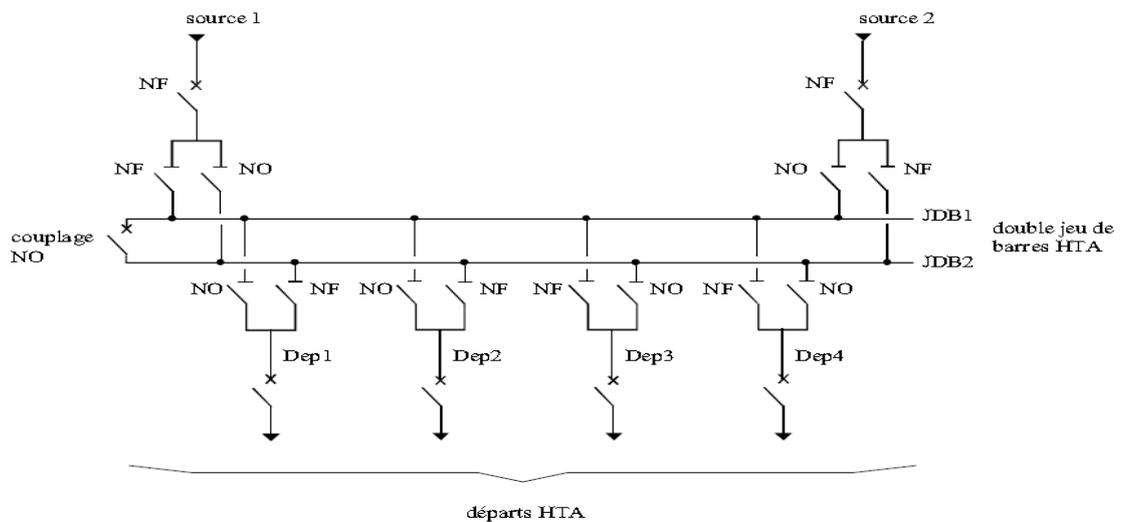


Figure (1.32) 2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation.

Fonctionnement

Le disjoncteur de couplage est maintenu ouvert en fonctionnement normal. Chaque départ peut être alimenté par l'un ou l'autre des jeux de barres suivant l'état des sectionneurs qui lui sont associés, un seul sectionneur par départ doit être fermé. Par exemple, la source 1 alimente le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2. La source 2 alimente le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 et Dep4.

En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

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

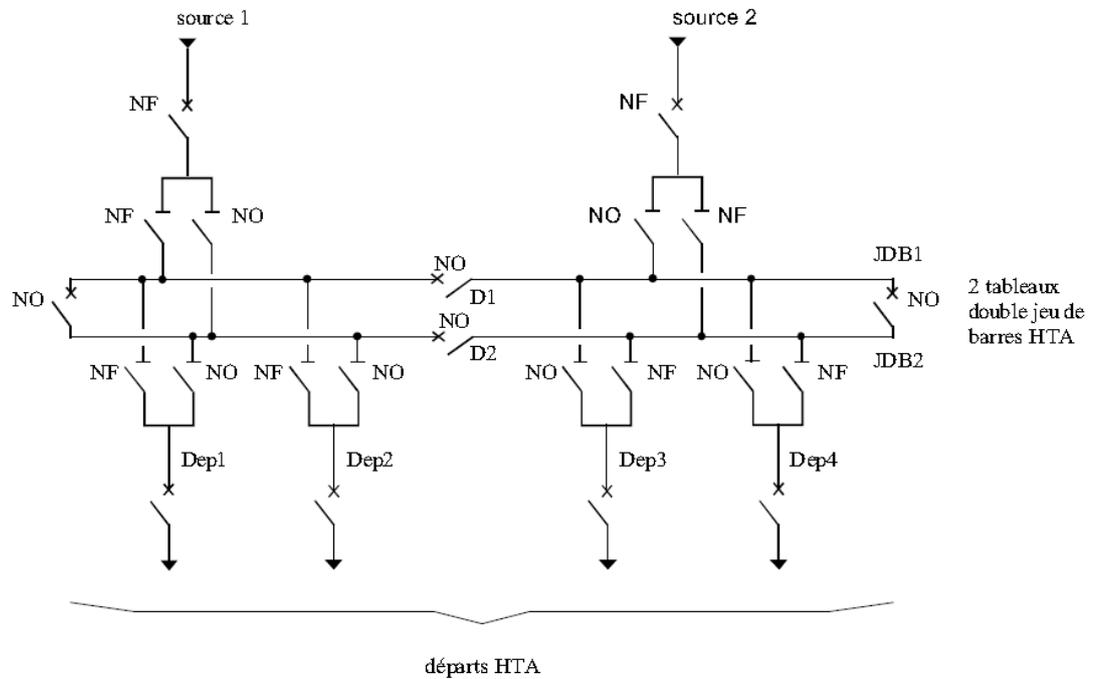


Figure (1.33) 2 doubles jeux de barres couplés entre eux.

Fonctionnement

Il est presque identique au schéma précédent (2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation).

La décomposition des doubles jeux de barres en 2 tableaux avec couplage (par D1 et D2) permet une plus grande souplesse d'exploitation.

Chaque jeu de barres alimente un nombre de départs moins important en fonctionnement normal

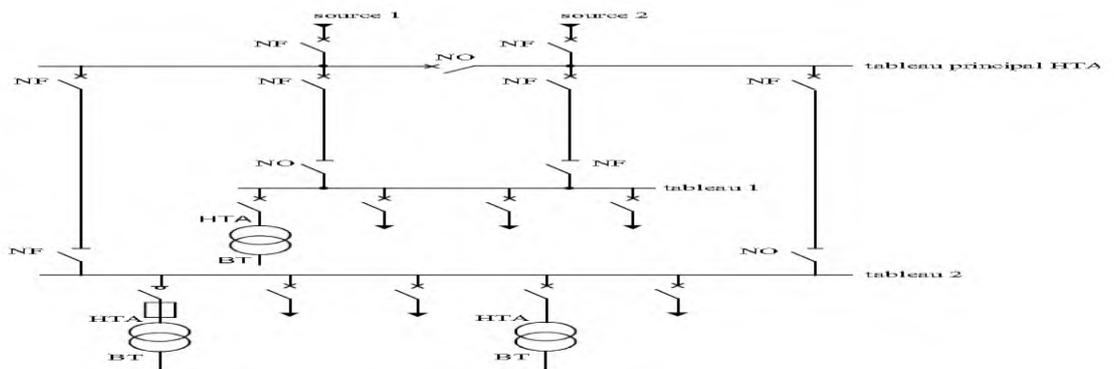


Figure (1.34) Radial en double antenne sans couplage.

En boucle ouvert

Cette solution est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes.

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

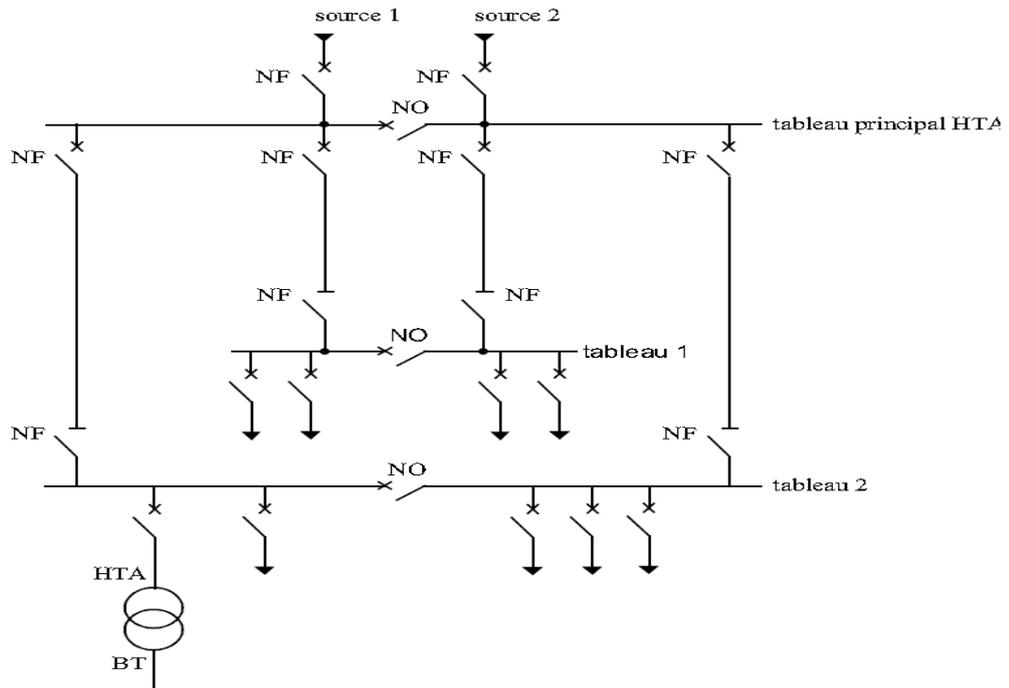


Figure (1.35) Radial en double antenne avec couplage en boucle ouvert.

En boucle fermée

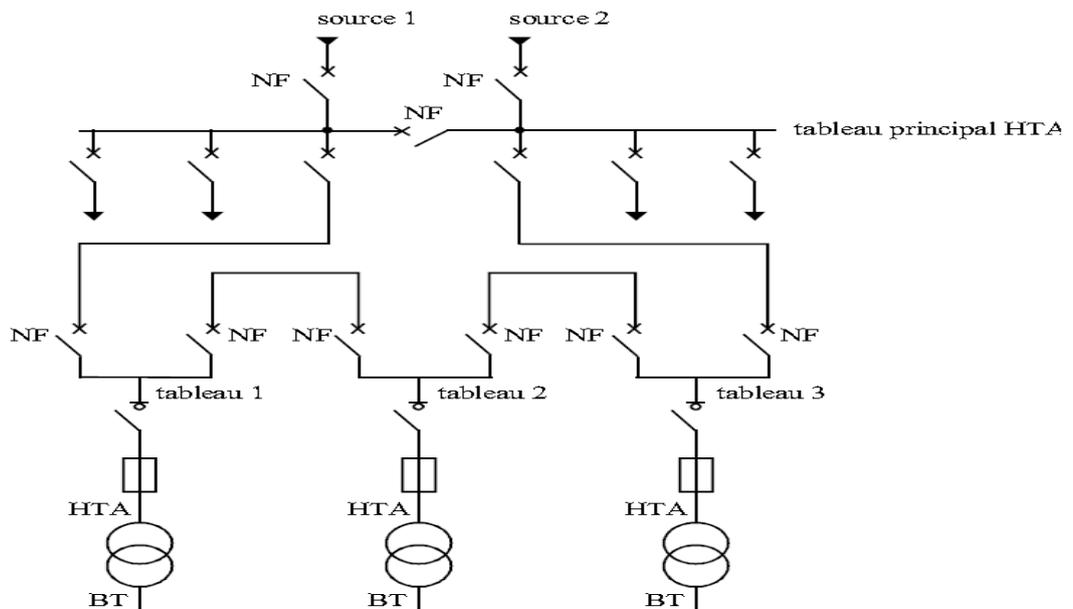


Figure (1.36) Radial en double antenne avec couplage en boucle fermé.

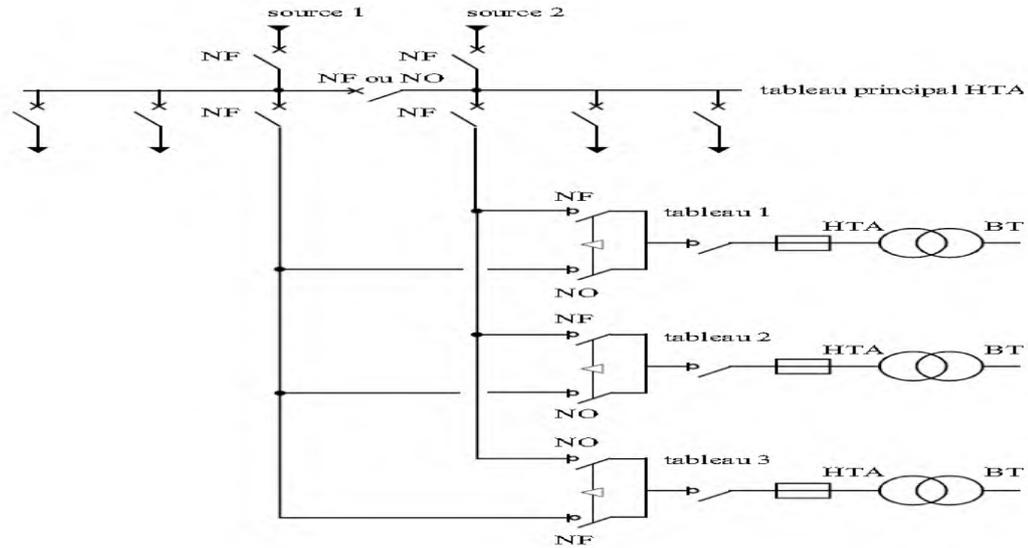


Figure (1.37) En double dérivation.

1.6. Les réseaux BT à l'intérieur du site

Nous allons d'abord étudier les différents modes d'alimentation des tableaux basse tension.

1.6.1. Modes d'alimentation des tableaux BT

Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau BT, Indépendamment de son emplacement dans le réseau.

Le nombre de sources d'alimentation possibles et la complexité du tableau différent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

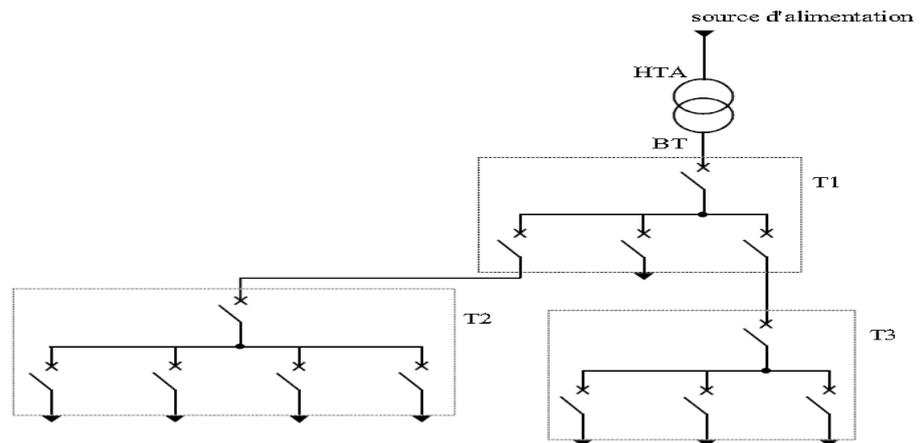


Figure (1.38) L'alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Les tableaux T1, T2, T3 bénéficient d'une seule source d'alimentation. Le réseau est dit de type radial arborescent.

En cas de perte de la source d'alimentation d'un tableau, celui-ci est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

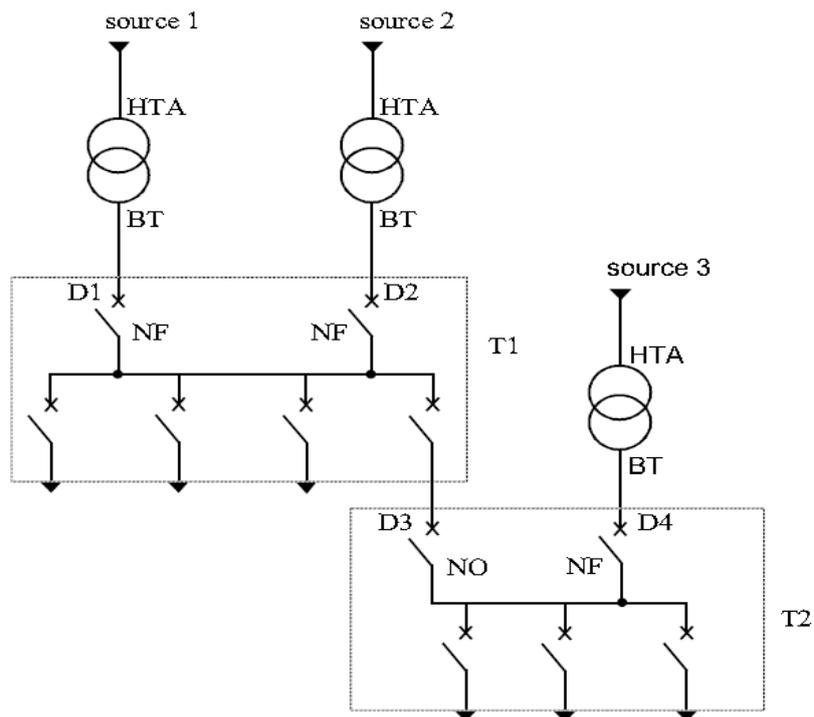


Figure (1.39) L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage.

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation sans couplage par 2 transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1

- Les deux sources alimentent T1 en parallèle
- En fonctionnement normal, les deux disjoncteurs sont fermés (D1 et D2).

Le tableau T2 bénéficie d'une double alimentation sans couplage par un transformateur

HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2

- Une source alimente le tableau T2, la seconde assure le secours.
- En fonctionnement normal, un seul disjoncteur est fermé (D3 ou D4).

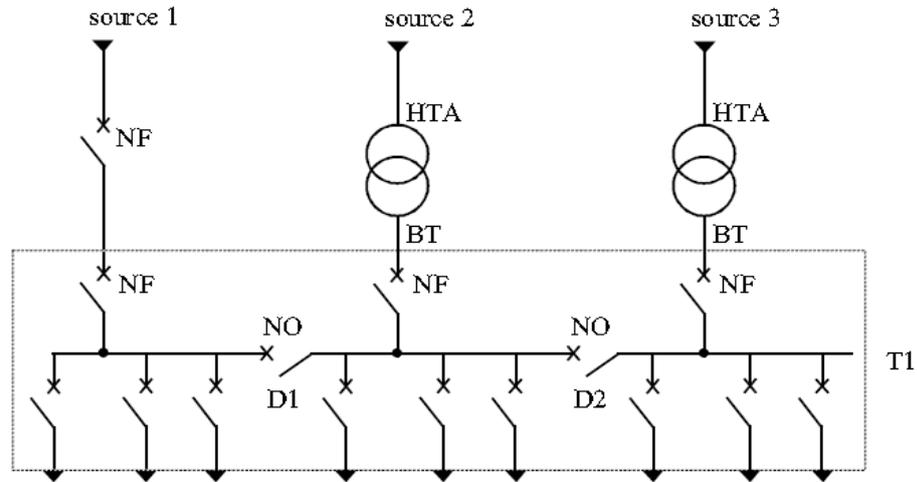


Figure (1.40) L'alimentation des tableaux BT par une triple alimentation avec couplage.

Le tableau T1 bénéficie d'une triple alimentation avec couplage par 2 transformateurs HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

En fonctionnement normal, les 2 disjoncteurs de couplage sont ouverts, le tableau T1 est alimenté par les 3 sources d'alimentation.

En cas de défaillance d'une source, le disjoncteur de couplage de la source associée est fermé, le disjoncteur arrivé de la source défaillante est ouvert.

1.6.2. Les tableaux BT secourus par des alternateurs

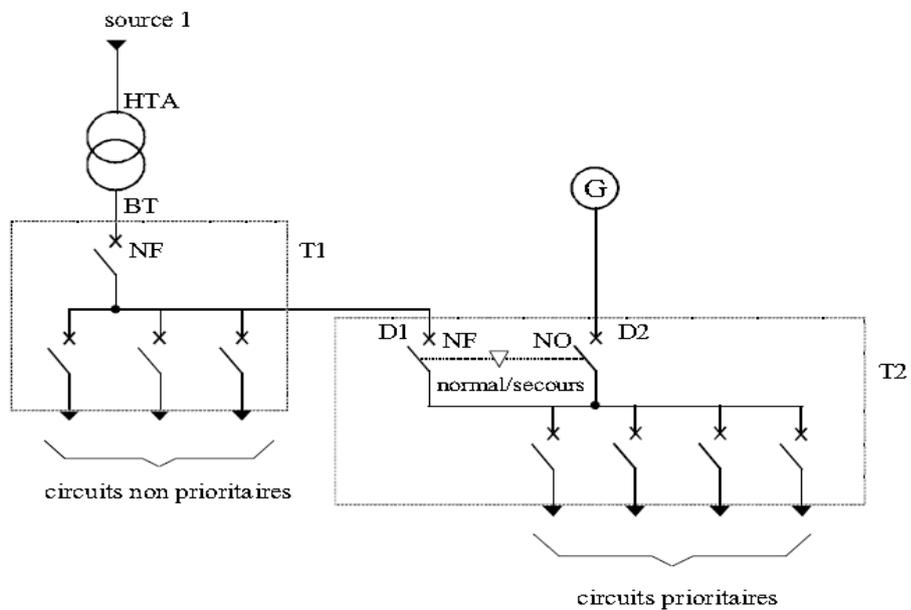


Figure (1.41) 1er exemple 1 transformateur et 1 alternateur.

- En fonctionnement normal, D1 est fermé et D2 est ouvert. Le tableau T2 est alimenté par le transformateur. En cas de perte de la source normale, on réalise les étapes suivantes :
- Fonctionnement du dispositif normal/secours, ouverture de D1.

Délestage éventuel d'une partie des récepteurs des circuits prioritaires, afin de limiter L'impact de charge subi par l'alternateur..

- Délestage des récepteurs éventuellement délestés à l'étape 2.

Lorsque la source normale est de nouveau en état de marche, le dispositif normal/secours bascule l'alimentation de T2 sur cette source et l'alternateur est arrêté

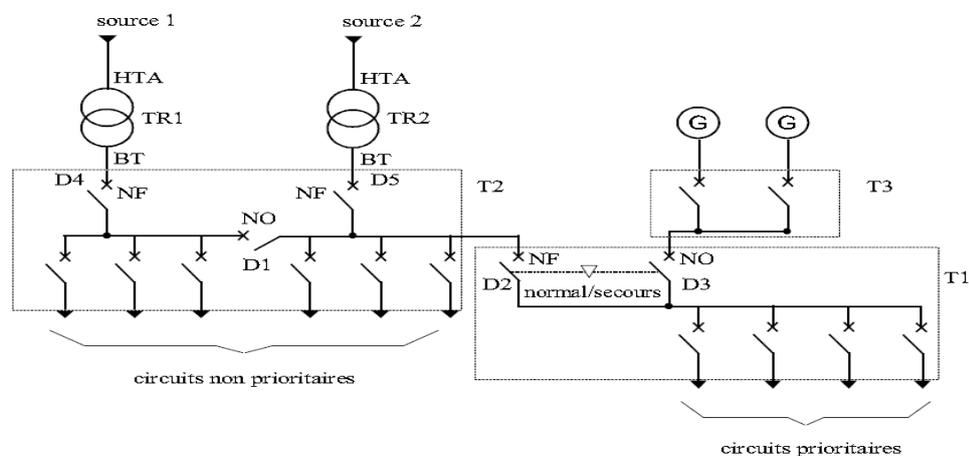


Figure (1.42) 2ème exemple : 2 transformateurs et 2 alternateurs.

En fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D1 est ouvert et le dispositif normal/secours est sur la position D2 fermé et D3 ouvert. Le tableau T1 est alimenté par le transformateur TR2.

En cas de perte de la source 2 ou de panne sur TR2, le secours de T1 (et une partie de T2) est assuré prioritairement par le transformateur TR1, après fermeture du disjoncteur de couplage D1.

Les alternateurs ne sont mis en marche qu'après la perte des 2 sources principales d'alimentation ou du jeu de barres de T2.

Le déroulement des étapes de sauvegarde de l'alimentation des circuits prioritaires est Identique au 1er exemple.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a étudié théoriquement l'organisation d'un réseau électrique ainsi ces clasifications.

Chapitre

02

2.1. Présentation de l'entreprise

La société des ciments de Tébessa, entreprise publique économique, SPA est une filiale de l'entreprise régionale des ciments et dérivée de l'Est (E.R.C.E), prometteur initial du projet, située a 26km au sud du chef lieu de la wilaya crée le 29/11/1993 à une capital social de 1200.000.000 DA, son actionnaire E.R.C.E 100% avec montage mécanique de E.N.C.C/ET TERKIB et un montage électrique (MERLIN GERIN France).[14]

La cimenterie pratique actuellement à l'emploi de 380 travailleurs et renforce le marché national de plus de 500.000 tonnes de ciments gris par ans.

2.2. Processus technologique de fabrication du ciment

Le ciment est fabriqué, principalement des roches calcaires qui représentent les 75% de la totalité du mélange, des roches argiles qui représentent les 21 % et les 4% qui restent représente d'autres matériaux apparentés (fer + gypse + sable).

Ces matériaux sont extrait des carrières et concassés si nécessaire, puis mélangés dans un rapport préétablit dans le broyeur à cru, après le broyage, le broyé appeler farine crue est acheminé vers le four rotatif pour y être cuit à une température d'environ 1450.

Les matériaux transformés, quittent le broyeur sous forme de clinker qui est broyé dans le broyeur à ciment avec 3-4% de gypse.

Le produit fini de broyage, qui se présente sous forme de poudre grise, est le ciment.

Il est stocké dans les silos d'ou il est extrait et expédié vers l 'extérieur. Plus clairement voir schéma des étapes de fabrication du ciment figure 2.1 ci-dessous :

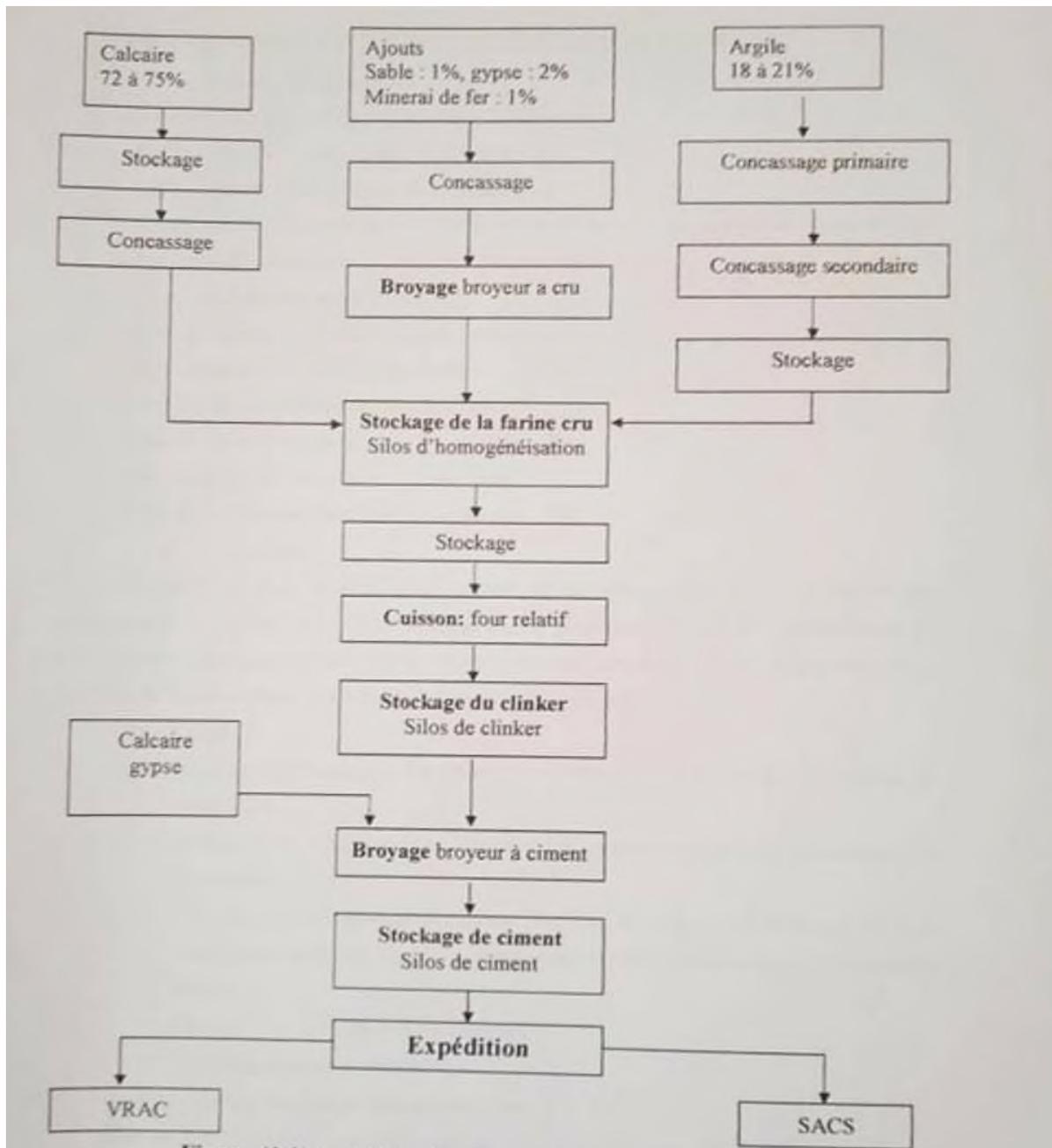


Figure (2.1) Schéma des étapes de fabrication du ciment.

2.3. Organisation du processus de fabrication de ciment

2.3.1 Matières premières

- Calcaire carrière 230 Ha (a 2 km de la cimenterie).
- Sable carrière 21 Ha (a 6 km de la cimenterie).

- Gypse carrière Medaourouche (à 90km de la cimenterie) et carrière Ain M'Lila (à 100 km).
- Fer mine de Boukhadra (à 50 km de la cimenterie).

2.3.2 Planning de réalisation:

- Mise en vigueur du contrat: 15 aout 1990.
- Date allumage du four 11 octobre 1994.
- Date production clinker: 14 octobre 1994.
- Date de la réception provisoire: 15 décembre 1994.
- Date du premier sac expié : 22 mars 1995.
- Date de la réception définitive: 21 novembre 1996.

2.3.3 Perspectives

Les études du projet dans sa phase initiale ont été menées dans le sens de réaliser une cimenterie d'une capacité de I million, t'an, par la suite, pour insuffisance de financement, le projet à été revu à la baisse, ou seul une ligne de 500. 000 t/an à été retenue l'extension de la cimenterie en réalisant la deuxième ligne technologique s'est affairée nécessaire pour :

2.3.4 Rentabilité

- Réalisation d'économie d'échelle qui se traduit par la baisse du coût moyen de production.
- Etalement des coûts fixes sur un volume de production plus élevé et croissance du rendement.
- Cash flow plus important permettant l'autofinancement partiel de la société de la part dinar et facilitant. Le renouvellement des équipements de carrières et le matériel roulant.
- Le remboursement des crédits consentis.
- Une indépendance financière.

2.3.5 Satisfaction des besoins locaux et régionaux

Bon profil a l'économie nationale: par une substitution à l'importation et valorisation des ressources locales.

2.4 Alimentation de la cimenterie en énergie électrique

La cimenterie de El-Ma-Labioud, reçoit deux (02) lignes de haute tension (90 kV de l'entreprise SO.N.EL.GAZ (respectivement départ ANABIB et départ EL-HAMMAMET).

En deux barres d'aluminium, qui sont protégées par deux disjoncteurs (HT) départ et arrivée, des Sectionneurs contre les surcharges, le court-circuit et les fuites de courant à la terre.

Ces lignes alimentent la sous-station principale. Cette sous-station est équipée par deux transformateurs de puissance 30MVA dont l'un en service et l'autre en réserve.

La protection du poste est assurée par :

- Relais pour l'alarme et le déclenchement;
- Thermomètre,
- Protection différentielle;
- Niveau d'huiles.

Les deux lignes sont raccordées aux jeux de barres cote haute tension des transformateurs (90KV), à son tour le poste alimente les différents départ de moyenne tension de différents ateliers (5,5KV) et chaque poste de différents ateliers alimente à son tour les différents consommateurs.[14]

Voir schéma de distribution de l'énergie électrique de la cimenterie d'El- Ma-Labioud figure (2.2) ci-dessous.

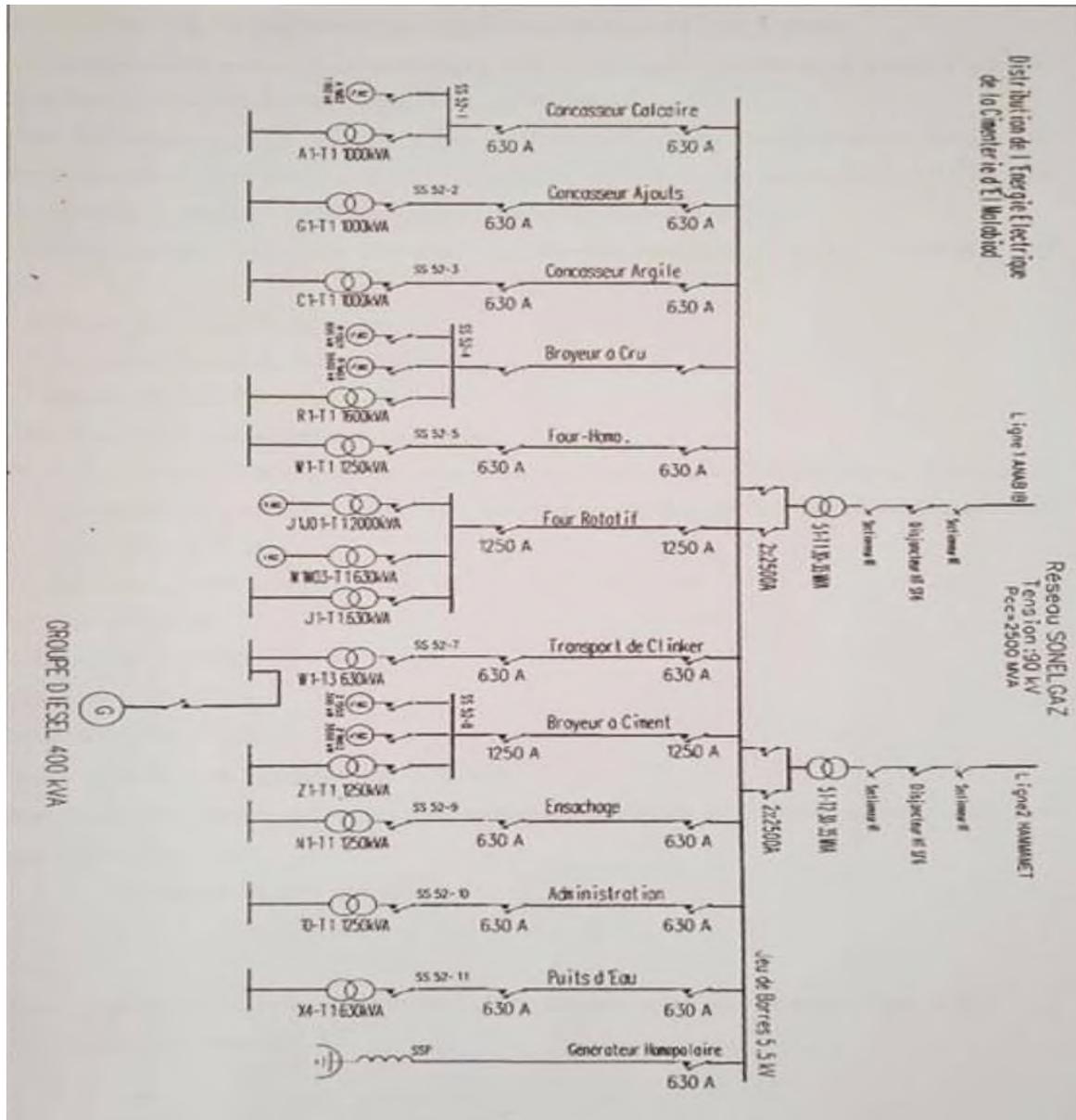


Figure (2.2) Schéma de distribution de l'énergie électrique de la cimenterie de El-Ma -Labiod.

2.5. Charges électriques.

2.5.1. Choix de la méthode de calcul des charges électriques :

Les charges électriques sont caractérisées par la consommation de l'énergie active et réactive dans un atelier ou dans une entreprise par des équipements.

Pour déterminer les charges électriques de l'entreprise, il est nécessaire de partager les consommateurs selon la tension d'alimentation (moyen tension, basse tension), selon le régime de fonctionnement, selon leurs destinations et selon leur disposition.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des charges électriques, parmi ces méthodes on distingue :

- Méthode de facteur d'utilisation.
- Méthode de facteur de maximum de charge.
- Méthode de facteur de demande.
- Méthode de consommation spécifique.

D'après la pratique, la méthode la plus utilisée dans l'industrie minière est la méthode du facteur de demande, car les calculs selon cette méthode sont basés sur l'utilisation de la puissance nominale et de facteur de demande.

Les paramètres qui caractérisent les charges électriques sont :

- ✓ Puissance active.
- ✓ Puissance réactive.
- ✓ Puissance apparente.
- ✓ Facteur de puissance.

Table with 3 columns: Type de ligne, x_L (Ω/km), and x_c (Ω/km). The title is 'VALEURS MOYENNES DE x_L ET DE x_c '. The rows are 'Lignes aériennes' and 'Câbles souterrains'.

Type de ligne	x_L Ω/km	x_c Ω/km
Lignes aériennes	0,5	300 000
Câbles souterrains	0,1	3 000

Figure (2.3) Valeurs moyenne de x_c et x_L .

Grosueur du conducteur		Résistance par conducteur à 75°C		Courant permissible* à l'air libre	
AWG	section mm ²	cuivre Ω/km	ACSR Ω/km	cuivre A	ACSR A
10	5,3	3,9	6,7	70	—
7	10,6	2,0	3,3	110	—
4	21,1	0,91	1,7	180	140
1	42,4	0,50	0,90	270	200
3/0	85	0,25	0,47	420	300
300 MCM	152	0,14	0,22	600	500
600 MCM	304	0,072	0,11	950	750
1000 MCM	507	0,045	0,065	1300	1050

Figure (2.4) Resistance et capacité de quelque conducteur.

2.5.2 Calcul des charges électriques

En utilisant les relations suivantes nous pouvons déterminer les paramètres qui caractérisent les charges électriques : [52]Belyi .M, Riabenco.I, et Syrovatko.A, Electrotechnique minière, Université d'Annaba Algérie, N°34 1978

Puissance active calculée

$$P_{cal} = F_d * \sum P_{nom} ; \quad \text{kW} \quad (2.1)$$

Ou :

- ❖ P_{cal} : La puissance active calculée du groupe de consommateurs de même type, Kw.
- ❖ F_d : Facteur de demande.

On précise la valeur du facteur de demande selon les relations suivantes :

Si $n < 20$:

$$F_d = 0.43 + 0.57 * P_{max} / \sum P_{nom} \quad (2.2)$$

Si $n \geq 20$:

$$F_d = 0.29 + 0.71 * P_{max} / \sum P_{nom} \quad (2.3)$$

Où :

- ❖ P_{max} : la puissance du moteur le plus puissant, kW
- ❖ $\sum P_{nom}$: la puissance totale du groupe de consommateurs installé, kW
- ❖ P_{nom} : La puissance active nominale du consommateur, kW
- ❖ n : Nombre des consommateurs installés qui sont identique formant un groupe.

Puissance réactive calculée :

$$Q_{cal} = P_{cal} * \text{tg } \emptyset \quad (2.4)$$

Où :

- ❖ Q_{cal} : La puissance réactive calculée du groupe de consommateurs de même type, k var
- ❖ $\text{Tg } \emptyset$: correspond au facteur de puissance $\cos \emptyset$ du groupe de consommateurs uniformes

La puissance active totale de l'entreprise

$$P_{cal t} = K_{div} * \sum P_{cal} \quad (2.5)$$

Où :

- ❖ K_{div} : Facteur de diversité de maximum des charges électriques
- ❖ $K_{div} = 0.85 / 0.95$
- ❖ n : nombre de groupe des consommateurs.

La puissance réactive totale de l'entreprise

$$Q_{cal t} = \sum Q_{cal} \quad (2.6)$$

La puissance apparente totale de l'entreprise

$$S_{cal t} = \sqrt{P_{cal t}^2 + Q_{cal t}^2} \tag{2.7}$$

Les résultats de calcul pour notre cas à l'aide de la méthode de facteur de demande sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Désignation de l'atelier	Désignation du consommateur	n	Cos φ	Tg φ	P_n	$\sum P_n$	F_d	P_{cal}	Q_{cal}
Administration	Transformateur	01	0.99	0.02	1237.5/1250	1237.5	1	1237.5	24.75
Ensachage	Transformateur	01	0.99	0.02	1237.5/1250	1237.5	1	1237.5	24.75
Puits d'eau	Transformateur	01	0.99	0.008	623.7/630	623.7	1	623.7	4.98
Concasseur De calcaire	Moteur	01	0.86	0.58	1180	1180	1	1180	684.4
Concasseur De calcaire	Transformateur	01	0.97	0.24	970/1000	970	1	970	232.8
Concasseur ajouts	Transformateur	01	0.99	0.24	970/1000	970	1	970	232.8
Concasseur argile	Transformateur	01	0.87	0.07	990/1000	990	1	990	69.3
Broyeur à cru	Moteur	01	0.79	0.56	800	800	1	880	492.8
Broyeur à cru	Moteur	01	0.99	0.77	3600	3600	1	3600	2772
Broyeur à cru	Transformateur	01	0.99	0.07	1548/1600	1548	1	1548	108.36
Four-homogène	Transformateur	01	0.9	0.1	1237.5/1250	1237.5	1	1237.5	123.75
Four rotatif	Transformateur	01	0.90	0.48	1800/2000	1800	1	1800	864
Four rotatif	Transformateur	01	0.98	0.48	567/630	567	1	567	272.16
Four rotatif	Transformateur	01	0.99	0.18	617.3/630	617.3	1	617.3	111.11
Transport clinker	Transformateur	01	0.84	0.04	623.7/630	623.7	1	623.7	24.94
Broyeur à ciment	Moteur	01	0.84	0.62	300	300	1	300	186
Broyeur à ciment	Moteur	01	0.99	0.62	3600	3600	1	3600	2232
Broyeur à ciment	Transformateur	01	0.99	0.1	1237.5/1250	1237.5	1	1237.5	123.75
								$P_{cal t} =$ 23219.7 KW	$Q_{cal t} = 859$ 1.85 KVAR

Tableau (2.1) Tableau des résultats de calcul des charges électriques de la cimenterie EL Ma-Labiod.

- ❖ $P_{cal t} = 23219.7$ KW
- ❖ $Q_{cal t} = 8591.85$ KVAR
- ❖ $S_{cal t} = 24758.31$

Calcul du facteur de puissance moyenne de l'entreprise $\cos \varphi_e$:

$$\cos \varphi_e = P_{cal t} / S_{cal t}$$

- ❖ $\cos \varphi_e = 0.93$

En utilisant le test suivant :

- ❖ $\cos \varphi_e \geq \cos \varphi_n = 0.92$

Ou :

- ❖ $\cos \varphi_n$; Facteur de puissance normatif appliqué en Algérie
- ❖ $\cos \varphi_e = 0.93 < \cos \varphi_n = 0.92$ [15]

Conclusion

Selon les résultats de calcul des charges électrique de l'entreprise (cimenterie de El-Ma-Labiod), le facteur de puissance est plus élevé par rapport à celle normatif, donc l'entreprise ne nécessite pas de procéder à la compensation de l'énergie réactive en ce temps là.

Chapitre

03

Introduction

Les matériaux diélectriques ou isolants quelque soient solides, liquides ou gazeux sont souvent le maillon faible des systèmes électriques dont la fiabilité et la disponibilité dépendent assez souvent de la qualité des Systèmes d'Isolation électriques (SIE).

Un câble électrique est un ensemble de plusieurs fils fonctionnant côte à côte ou groupés, qui sont utilisé pour transporter un courant électrique.

Ils doivent être capables d'assurer un transfert de l'énergie électrique.

Les câbles à haute tension sont constitués comme ceux basse tension de trois parties principales sont (conducteur, isolation et gaine de protection).

Mais à la différence des câbles basse tension, une couche supplémentaire est ajoutée pour que le champ électrique soit homogène autour du conducteur.[3]

Dans ce chapitre nous présentons une revue bibliographique sur les câbles électriques.

Nous montrons aussi le procès de fabrication des câbles ainsi les différents types de câble électrique.

3.1. Constitution du réseau électrique

Le transport de l'énergie électrique est actuellement assuré par :

- Lignes aériennes.
- Câbles souterrains.
- Postes électriques.

3.2 Lignes des transports

Depuis 1994 la plupart des compagnies d'électricité ont pris la décision de ne plus établir de nouvelles liaisons aériennes en deçà de 150 kV.

A terme donc tout le réseau de distribution et progressivement celui de répartition se fera en câbles souterrains.

L'utilisation de câbles en plus haute tension est confronté à des problèmes technologiques significatifs (surtout la jonction coût très élevé (si le coût en basse tension est similaire, voire inférieur pour une liaison souterraine, il devient jusqu' à environ 20 fois plus élevé à 400 kV par rapport à une liaison aérienne).

3.2.1 Les Lignes aériens

Elle est composée de conducteur nus, généralement en alliage d'aluminium, d'isolateurs, de pylônes et d'un câble de garde pour les lignes de haute tension.

Son rôle principale est de transporter l'énergie électrique de la source de production jusqu'à la zone de consommation.

Elle possède les caractéristiques suivantes :

- La tension reste constante sur toute la longueur de la ligne et pour toutes les charges comprises entre zéro est la charge nominale.
- Un bon rendement.
- Les pertes joules ne doivent pas surchauffer les conducteurs [7]

3.2.1.1 Les avantages des lignes aériennes

- ✓ Sont moins coûteuses que les lignes souterraines du point de vue des frais d'installation et de réparation.
- ✓ Elles permettent une surveillance aisée de leur état et un repérage facile des accidents et des défauts.
- ✓ Elles peuvent être réparées très rapidement en cas d'accident ou de défaut.
- ✓ Elles peuvent être surchargées en intensité de courant sans trop de danger.

3.2.1.2 Les inconvénients des lignes aériennes

- ✓ L'exposition aux surtensions d'origine atmosphérique.
- ✓ Leur installation donne lieu à des oppositions des propriétaires des terrains surplombés.
- ✓ Elles soulèvent des problèmes d'esthétique et de respect des sites.
- ✓ Elles sont susceptibles d'induire des forces électromotrices perturbatrices ou dangereuses dans les circuits de télécommunication.
- ✓ Elles sont susceptibles de produire des perturbations radioélectriques gênant les réceptions de radiodiffusion et de télévision.
- ✓ Selon certains, les champs électriques et magnétiques peuvent exercer une influence néfaste sur la santé [9]

3.2.2 Les lignes souterraines

Il est composé de différentes parties assemblées de manière concentrique, les principales composants sont : au centre un conducteur permet de transporter l'électricité, ensuite vient une isolation électrique pour empêcher le courant de s'écouler vers la terre, le tout est entouré d'une gaine métallique afin de confiner le champ électrique à l'intérieur du câble et d'une protection extérieure qui assure de bonnes propriétés mécaniques et le protège des agressions extérieures

3.2.2.1 Les avantages

- ✓ Constituent la seule solution possible dans les agglomérations denses.
- ✓ Sont soustraites aux surtensions atmosphériques (foudre).
- ✓ Ne causent pas d'interférences avec les circuits de télécommunications.
- ✓ Ne produisent aucune gêne pour les réceptions de radiodiffusion et télévision.
- ✓ Seule solution possible pour traverser de larges fleuves ou des bras de mer lorsque la distance à franchir dépasse 3km.

3.2.2.2 Les inconvénients

- ✓ Sont d'un coût beaucoup plus élevé que celui des lignes aériennes.
- ✓ La différence est d'autant plus grande que la tension est plus élevée.
- ✓ Le repérage des défauts y est délicat et lent.
- ✓ Les réparations sont coûteuses et parfois malaisées.
- ✓ Leurs armures et gaines doivent être protégées contre les effets de corrosion dus aux courants vagabonds.
- ✓ Risquant d'être détériorés en cas de mouvements de terrains.
- ✓ Leur isolement est susceptible d'être détérioré par élévation de température des conducteurs en cas de surcharge.

3.3 Réseaux HTA souterrains

Les zones urbaines ou mixtes à forte densité de charge sont alimentées par des câbles HTA enterrés en double dérivation ou en coupure d'artère.

En double dérivation, les postes HTA/BT sont normalement alimentés par le câble de travail (CT), le câble de secours (CS) permet de garantir une bonne continuité technique en coupure d'artère est moins coûteuse que la précédente et permet une isolation rapide des défauts, mais nécessite un temps d'intervention plus long.

Le dimensionnement des ouvrages souterrains est principalement de la densité des charges à desservir.

Les ouvrages de distribution neufs ou les rénovations en zones rurales sont également réalisées en câble enterré depuis les années 1990, en raison de la baisse notable du surcoût lié à cette technique.

De plus, une volonté politique croissante de qualité environnementale tend à la réduction de l'impact visuel des ouvrages.

3.4 Les câbles électriques souterrains

Certes, les investissements liés à l'installation de nouveaux câbles sont parfois prohibitifs.

Mais en contrepartie, leur impact environnemental et esthétique est bien moindre que celui des lignes aériennes.

Dans cette optique, les câbles souterrains ont pris et prendront encore une ampleur certaine.

3.4.1 Les câbles souterrains THT

Les câbles souterrains de très haute tension THT sont principalement employés pour le transport et la distribution de l'énergie électrique dans les zones fortement urbanisées parfois pour résoudre des problèmes locaux particuliers, techniques ou d'environnement, pour lesquels la mise en œuvre de lignes aériennes est difficile ou impossible.



Figure (3.1) Constitution d'un câble souterrain isolé au polyéthylène réticulé.[8]

(1)	âme conductrice
(2)	couche semi-conductrice interne
(3)	isolant au polyéthylène réticule
(4)	couche semi-conductrice externe
(5)	écran conducteur
(6)	protection au PVC

Tableau (3.1) Les différents parties d'un câble souterrain.

3.4.2 Le câble souterrain Moyen Tension MT

Les câbles électriques souterrains de moyenne tension ont la même forme et la même constitution que les câble THT et HT mais avec un diamètre inférieur a cause du niveau de la puissance transmise.

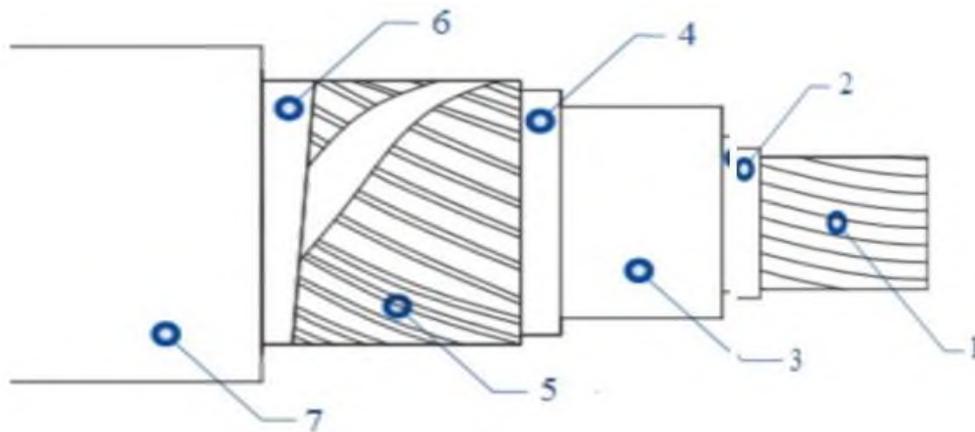


Figure (3.2) Câble unipolaire.

(1)	Conducteur en cuivre.
(2)	Écran appliqué sur le conducteur en matériau semi thermostable
(3)	Polyéthylène réticulé (XLPE), sous tube en atmosphère sèche
(4)	Écran en matériau semi appliqué sur l'enveloppe isolante.
(5)	Écran composé de fils et d'un ruban en cuivre
(6)	Ruban hygroscopique recouvrant intégralement l'écran
(7)	extérieure Polyoléfine sans halogène

Tableau (3.2) Les différents parties d'un câble unipolaire.

3.4.3 Câble Tripolaire



Figure (3.3) Constitution d'un câble Tripolaire.

3.5 Les câbles Souterraines BT

Les câbles d'alimentation souterrains à basse tension sont construits avec des conducteurs en cuivre et en aluminium rigides, solides ou toronnés et des conducteurs en cuivre flexibles (nus ou étamés).

Les XLPE, PVC, LSF/LSOH et les composés élastomères sont les principaux composés isolants et protecteurs pour ces types de câbles

Les fils ou les rubans en acier (ou en aluminium pour les câbles unipolaires) peuvent être appliqués sous la gaine extérieure, ce qui procure une protection mécanique supplémentaire.[11]

3.5.1 Conducteurs de phases

Est la partie métallique des câbles qui transporte le courant électrique ces matériaux sont âme en aluminium

3.5.2 Conducteur neutre

Âme circulaire câblée en aluminium gaine de protection en plomb.
Isolation en PR extrudé, Assemblage (bourrage et filins) .Ecran en rubans acier .Gaine en PVC.



Figure (3.4) Câble souterrain BT.

3.5.3 Classification des câbles souterrains

On peut Classifier les câbles électriques souterrains suivants plusieurs critères :

- Selon la nature des Phases (câble unipolaire ou tripolaire).
- Selon la nature d'isolement (Câble synthétique ou à isolation par XLPE, isolation par Papier imprégné).
- Selon la forme ou la structure (Conducteurs de forme circulaire, ou scrotale)

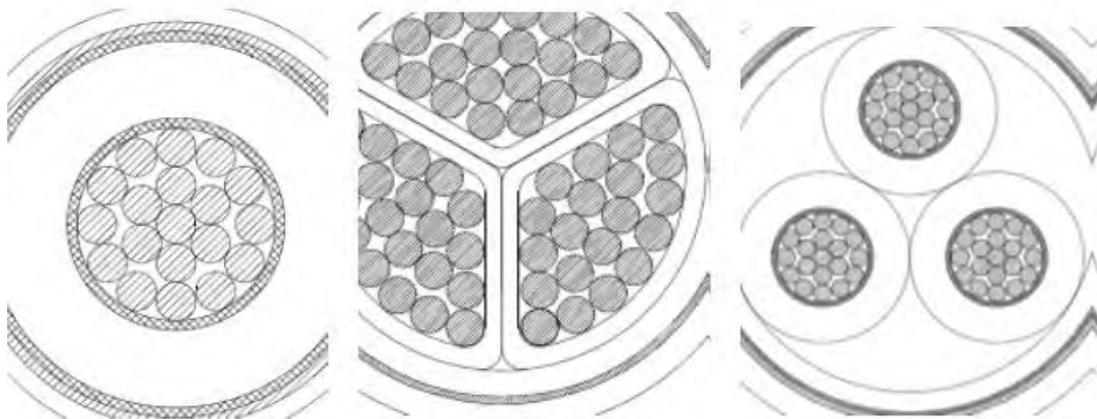


Figure (3.5) Coupure verticale d'un câble souterrain.[12]

3.5.4 Pertes d'énergie des câbles souterrains

Dans les isolants solides soumis à un champ électrique alternatif il se produit des pertes d'énergie attribuables aux causes suivantes :

- la conductance massique de l'isolant lequel n'est jamais parfait,
- la conductance superficielle, qui dépend de l'état du surf
- L'hystérésis diélectrique,
- les effluves et décharges dans les espaces vides.

3.6 Comparaison ligne aérienne et câble souterrain

- Les lignes aériennes sont soumises plus fréquemment que les câbles à des interruptions de courte durée (orage, brouillard, givre, branches d'arbres, oiseaux, grues, engins de terrassement, matériels de construction de la ligne...),
- Les câbles nécessitent une durée de réparation plus longue que les lignes aériennes,
- Des surcharges de longue durée sont plus critiques en souterrain qu'en aérien,
- Le vieillissement des câbles risque d'être fortement affecté. Par contre les surcharges de courte durée sont plus facilement supportées par les câbles,
- Les câbles souterrains ont une impédance plus faible que leur équivalent aérien, ce qui donne des courants de défaut plus élevés et une rétrogradation de la sélectivité des protections. La répartition de charge est également fortement modifiée,
- Les contraintes environnementales et de coûts, ainsi que la sécurité et la fiabilité de l'alimentation doivent être parallèlement envisagées lors d'une comparaison souterrain-aérien,
- L'impact visuel des lignes peut nécessiter un acheminement approprié,
- Champ électromagnétique : les câbles souterrains génèrent moins de champs électromagnétiques (sauf aux bornes terminales et au droit de la liaison dans les dispositions en nappe où il peut être jusqu'à trois fois plus élevé), pas de bruit couronne et peu d'interférence,
- Une liaison souterraine occupe moins de passage au niveau du sol,
- Le courant capacitif d'un câble souterrain haute tension est plus élevé que celui d'une ligne aérienne. De longs tronçons nécessitent l'installation de compensateurs réactifs,
- La plupart des défauts en aérien sont fugitifs, tandis qu'ils sont permanents en souterrain,
- Du fait de sa section de conducteur plus importante, la liaison souterraine permet une diminution des pertes électriques d'environ $\frac{1}{4}$ par rapport à l'aérien,
- Le coût de la réalisation d'une ligne aérienne est largement plus faible qu'une ligne électrique avec des câbles [5]

3.7 Technologies de câbles HVDC

Comme dans le cas HVAC, les liaisons HVDC peuvent être aériennes ou enfouies.

Les liaisons 'grande distance' et 'très haute tension' restent aujourd'hui en liaison aérienne pour des raisons techniques et économiques.[12]

Les liaisons en service présentant aujourd'hui des records en terme de distance, puissance transportée et tension sont *Rio Madeira* au Brésil (3x2150 MW, 600 kV, 2375 km), *Jinping-Sunan* (7200 MW, 800 kV, 2090 km) et *Nuozhadu -Guangdong* (6400 MW, 800 kV, 1300 km), toutes deux en Chine.

Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les différentes technologies de câbles HVDC, avant de traiter plus spécifiquement des contraintes liées à l'isolation synthétique.

3.7.1. Développement des câbles HVDC

Le développement des systèmes de transmission HVDC passe également par le développement des câbles HVDC pour rendre optimum le transport d'énergie (entre autre en diminuant la puissance perdue dans le système électrique).

Construite au début du 20e siècle, la liaison *Lyon-Moutier* utilisait une isolation papier de 18 mm d'épaisseur imprégnée de résine de pétrole et contenue dans une double gaine de plomb.

Le conducteur en aluminium, de section 75 mm², permettait de transmettre une puissance maximum de 30 MW.

Ce câble est considéré comme le premier câble HVDC commercial. Depuis, ce type de câble a surtout été utilisé pour la réalisation de liaisons sous-marine.[3]

3.7.1.1 Câbles papier imprégné à isolation solide

Les câbles à papier imprégné (MI pour *mass-imprégnâtes*), mis en œuvre à partir de papier isolant imprégné d'huile de viscosité élevée, ont été utilisés dans le projet *Gotland* HVDC en 1954.

Le câble HVDC-MI reste à ce jour le câble le plus utilisé dans le domaine du HVDC principalement en raison de sa fiabilité. Ce type de câble est aujourd'hui disponible pour des tensions allant jusqu'à 500 kV et des courants jusqu'à 1600 A correspondant à une capacité maximale en termes de puissance de 800 MW pour une liaison unipolaire et 1600 MW pour une liaison bipolaire.

La dimension des conducteurs est de l'ordre de 2500 mm² (pour une transmission de 2 GW en configuration bipolaire).

Ce type de câble a été récemment employé pour la réalisation de l'interconnexion sous-marine en courant continu entre l'Italie et la Grèce du projet *Grita* (connexion à 400kV, 500 MVA et longueur sous-marine de 160 km)

Toutefois, les câbles MI subissent des phénomènes de contraction-dilatation sous l'effet des cycles d'échauffement et refroidissement dus à une grande différence de coefficient de dilatation des matériaux qui le constituent.

Ces variations de volume ne sont pas compensées par une circulation de la matière d'imprégnation qui reste essentiellement immobile.

Ces contraintes amènent à limiter la température maximale de fonctionnement des câbles à environ 55°C au conducteur, ce qui limite la capacité de transmission des câbles en comparaison à d'autres solutions.

3.7.1.2 Câbles à isolant synthétique extrudés

La demande en isolations plus respectueuses de l'environnement et capables de fonctionner à température élevée a suscité le développement des câbles HVDC extrudés.

L'extrusion est une technique permettant de déposer une couche uniforme et compacte d'isolant polymère autour du conducteur, prise en sandwich entre deux écrans semi conducteurs.

L'isolation de câbles à haute tension est obtenue par un procédé de co-extrusion de l'isolant et des semi-conducteurs internes et externes, suivi, éventuellement, d'une phase de réticulation de l'isolant afin de lui conférer des propriétés thermomécaniques appropriées comme dans le cas du polyéthylène réticulé (XLPE).

Les câbles à isolant synthétique extrudés offrent des avantages significatifs par rapport aux câbles à isolation papier traditionnels, par exemple

- La température du conducteur est plus élevée, ce qui donne un câble plus compact pour une même puissance transportée.
- La barrière à l'humidité est plus compacte, donnant un câble plus léger.
- L'assemblage de câbles extrudés est beaucoup plus simple et nécessite moins de compétences.
- L'utilisation des câbles extrudés évite les risques environnementaux importants à long terme associés à des fuites d'huile.

Le développement de ce type de câble, pour du transport en HVAC, s'amorça dans les années 1950 et a connu un essor important dans les années 1960 aux Etats-Unis, au Japon et dans les pays scandinaves.

Dans les années 1970, les tests à long terme en tension DC ont été réalisés au Japon pour déterminer si les câbles XLPE, utilisés pour la transmission de courant alternatif (HVAC), pouvaient également être utilisés pour le transport HVDC. Les phénomènes d'accumulation de charge d'espace et l'inversion du champ électrique en présence de gradient de température constituaient les principaux obstacles à l'adaptation des câbles HVAC-XLPE au transport HVDC.

L'étude des additifs destinés à améliorer la tenue en tension continue des isolations polymères a réellement débuté en 1984.

Les composants comprennent un ensemble de retardateurs d'arborescence d'eau et des antioxydants.

Les projets pour le développement de câbles HVDC à base de XLPE ont effectivement débuté en 1988 pour la tension de 250 kV et en 1993 pour la tension de 500 kV.

En 1995, un test de qualification a été réalisé sur un câble 250 kV. En 2001, un autre essai de qualification a été réalisé sur des câbles XLPE de 500 kV pour vérifier leurs performances.

Le premier système de transmission HVDC au monde utilisant des câbles à isolant synthétique extrudé a été installé sur l'île de *Gotland* (en Suède) en 1999.

Cette installation utilise des convertisseurs à source de tension (VSC). Comme nous l'avons mentionné au §1.1.2, cette solution évite le recours aux inversions de polarité (pour l'inversion du flux de puissance) limitant ainsi le risque de rupture de l'isolation du câble.

Au cours des années 2001 à 2005, les câbles extrudés sont devenus le type de câble DC le plus utilisé pour les liaisons enfouies pour des tensions inférieures à 220 kV. Ainsi, à la fin de l'année 2005, les câbles polymères représentaient environ 59% de l'ensemble des câbles DC en service.

Les efforts entrepris en recherche et développement ont permis d'améliorer grandement la fiabilité des câbles HVDC extrudés.

On dénombre aujourd'hui plusieurs installations ayant recours au câble HVDC à isolation synthétique.

A ce sujet, nous pouvons citer la liaison *Murray Link* en Australie mesurant 180 km de long et constituant à ce jour l'installation la plus longue au monde utilisant des câbles extrudés souterrains.

Le système de transmission sous-marin *Trans Bay Cable* de San Francisco ou encore les liaisons souterraines et sous-marines *East West Interconnector* entre la Grande Bretagne et l'Irlande en sont également des exemples.

Le système de câble HVDC extrudé utilisant la technique VSC permet aujourd'hui d'atteindre une tension supérieure à 300 kV et une puissance de transmission de l'ordre du GW.

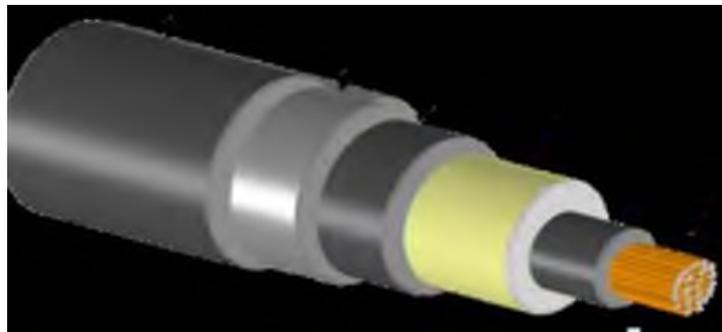


Figure (3.6) Câbles à isolant synthétique extrudés.

3.8 Dimensionnement et configuration des câbles

Le choix du système de transport du courant électrique est déterminé par la capacité et la longueur de la ligne de transmission.

Pour la transmission d'électricité sur de courtes distances, les câbles triphasés CA sont les plus communs. Ainsi, la transmission CA est souvent utilisée pour alimenter les plateformes offshore et pour raccorder les champs éoliens offshore.

Les lignes de haute tension de courant continu (HVDC) sont en revanche privilégiées pour le transport sur de plus longues distances (> 50 km). Parmi les câbles HVDC, on distingue les configurations mono polaire et bipolaire.

Le système mono polaire est caractérisé par un courant de retour porté par l'eau de mer ou par un conducteur de retour séparé. Sans conducteur de retour, le courant passe dans l'eau de mer via des électrodes, en général des anodes en graphite et des cathodes en titane qui sont localisées sur le fond.

Il est à noter que ces systèmes mono polaires ne remplissent plus les critères des standards environnementaux de la plupart des pays occidentaux principalement à cause des produits de l'électrolyse mais aussi du fait d'importants champs électromagnétiques

Si certains câbles de ce type sont toujours en fonctionnement actuellement, cette technique de raccordement est désormais abandonnée.

Le système bipolaire est caractérisé par une paire de conducteurs de polarités opposées. [9]

Le système peut être composé de deux câbles distincts placés de sorte que les polarités soient opposées ou d'un unique câble bipolaire à deux conducteurs, moins puissant (du fait de l'échauffement mutuel entre ces deux câbles jointifs) que le système à deux câbles.

Conclusion ;

On a étudié les types es câbles électriques, la dimension et la comparaison entre ces types des câbles .

Chapitre

04

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

Introduction

Ce problème revêt plusieurs aspects qui, dans la réalité, s'enchevêtrent. Ce n'est que pour la clarté de l'exposé que nous les séparerons artificiellement. Il y a d'abord le fameux compromis "coût de la ligne - coût des pertes en ligne" qui conduit à la règle bien connue de Kelvin et à la notion de densité de courant économique, en régime normal, généralement très inférieure aux densités maximales que peuvent supporter les ouvrages. Il y a ensuite le comportement d'un ouvrage en "n-1", c'est-à-dire de l'éventuelle surcharge à laquelle il est soumis, du fait qu'un ouvrage voisin, plus ou moins en parallèle, est mis brutalement hors service, à la suite d'un incident.[11]

A ce moment là, ce n'est plus tellement le coût des pertes dû à la surcharge qui compte, car celle-ci se produit pendant une proportion du temps en moyenne très faible, mais la nécessité de ne pas dépasser la limite thermique de l'ouvrage.

Si cette limite était dépassée, on serait conduit à ne pas distribuer la totalité de l'énergie appelée; ou, si cela est possible, à diminuer la puissance de certaines centrales de production, pour en augmenter d'autres, entraînant de la sorte une modification des transits en ligne, résorbant la surcharge, mais entraînant aussi certains surcoûts de combustibles.

De surcroît, il faut replacer le problème du choix de la section dans un contexte dynamique. Car généralement, s'agissant de transporter l'énergie d'un point A à un point B, le besoin de transport augmente, en fait chaque année. (Quelques exceptions peuvent être trouvées, comme les lignes d'évacuation de la puissance des groupes de production).

La solution de moindre coût actualisé, c'est-à-dire qui étale le mieux les investissements, consisterait à construire des lignes de section assez faible et à rajouter une ligne supplémentaire assez souvent. On arriverait donc ainsi à couvrir le territoire d'une multitude de petites lignes; ce qui ne va évidemment pas dans le sens de l'histoire.

Au contraire, la nécessité de développer toujours les transports d'énergie électrique, à l'intérieur de territoires de dimensions constantes qui se surchargent par ailleurs d'une quantité d'autres infrastructures, conduit actuellement à plutôt préférer, lorsqu'on construit une ligne, prévoir d'emblée une section assez forte, malgré l'anticipation

Chapitre 04 **Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension**

d'investissement qui l'accompagne, de manière qu'elle repousse assez loin dans le temps la nécessité de construction de la ligne suivante.

On voit donc que le problème du compromis entre les dépenses immédiates et un encombrement ultérieur réduit, influence le choix de la section et reflète une sorte de choix politique global; que préfère la Société: préserver les paysages ou étaler les dépenses ?

Disons quand même que cette incitation vers les fortes sections comporte certaines limites techniques puisque les chutes de tension en ligne augmentent avec les puissances transitées et dépendent peu des sections. De sorte que les lignes de forte section, transitant des fortes puissances, entraîneront des consommations de puissance réactive importante et des chutes de tension pouvant être excessives. Est alors posé le problème de la compensation de ces lignes.

Ce problème concernant surtout les transports à haute et très haute Tension, ne sera pas développé dans le cadre de cette étude dynamique est entendu ici dans le sens : évolution au long des années.

En dernier lieu, rappelons la nécessité, dans un réseau maillé, de disposer de lignes dont les sections sont comparables, de telle manière que la répartition des transits entre les différentes lignes, qui se fait ; sensiblement au prorata des réactances, donc des longueurs, ne conduisent pas, en certains endroits à des distorsions excessives de répartition de puissance [11].

4.1 Principe général guidant le choix d'une section de conducteurs pour une ligne moyenne et basse tension

La section optimale des conducteurs sur une ligne est celle qui réalise le meilleur compromis entre le coût de ces conducteurs et le coût des pertes qu'ils engendreront sur toute la durée de fonctionnement (c'est la loi de Kelvin qui a été exposée dans le paragraphe précédent).

Mais il y a aussi des contraintes à respecter qui sont liées:

- L'intensité maximale admissible dans une section donnée et pour une technologie donnée,
- La chute de tension maximale admissible sur le réseau,
- La tenue mécanique (cas des lignes aériennes), qui impose une section minimale.[12]

4.1.1 Aspects généraux

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

La procédure généralement utilisée pour le choix d'une section d'âme de câble conduit à retenir la section minimale admissible, ce qui diminue également le coût d'investissement initial du câble. Elle ne tient pas compte du coût des pertes intervenant pendant la durée de vie du câble.

Le coût croissant de l'énergie, venant s'ajouter aux pertes d'énergie importantes provoquées par les températures de fonctionnement élevées possible avec les nouveaux matériaux isolants, impose actuellement d'effectuer le choix des sections de câble en fonction de critères économiques plus larges. Plutôt que de réduire uniquement le coût initial, il convient de minimiser également le coût des pertes sur la durée de vie économique du câble.

Concernant cette dernière condition, le choix d'une section de câble plus forte que celle déterminée pour obtenir un coût initial minimal conduit à des pertes plus faible pour le même courant, ce qui est beaucoup moins coûteux, si l'on considère sa durée de vie économique.

On peut calculer les coûts futurs des pertes d'énergie pendant la durée de vie économique d'un câble en évaluant de façon adéquate (ce qui n'est pas des plus évidents) l'accroissement de la charge et le coût de l'énergie.

La section d'âme la plus économique est obtenue en minimisant la somme des coûts futurs des pertes d'énergie et du coût initial d'achat et d'installation.

Lorsque l'on choisit une section d'âme de câble plus forte que celle déterminée par les contraintes thermiques, l'économiseur le coût global est due à une réduction considérable du coût des pertes par effet Joule comparée à l'augmentation du coût d'achat.

4.1.2 Aspects économiques

Pour ajouter les coûts d'achat et d'installation au coût des pertes d'énergie intervenant pendant la durée de vie économique du câble, il est nécessaire de les exprimer en termes de valeurs économiques comparables, c'est-à-dire des valeurs qui se rapportent à une même époque dans le temps. Il est pratique d'utiliser la date d'achat de l'installation comme point de référence et de s'y référer comme le "présent".

Les coûts "futurs" des pertes d'énergie sont ensuite convertis en leurs "valeurs actuelles" équivalentes.

On utilise pour cela le processus d'actualisation, le taux d'actualisation étant lié au coût des emprunts.

Chapitre 04 **Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension**

Dans la méthode de calcul qui va suivre, il a été fait abstraction de l'inflation car elle a une influence à la fois sur le coût des emprunts et sur le coût de l'énergie. Si ces paramètres sont considérés sur une même durée et que les effets de l'inflation sont approximativement les mêmes pour les deux, le choix d'une section d'âme économique peut être fait de façon satisfaisante sans y ajouter la complication de l'inflation.

Pour calculer la valeur actualisée des coûts des pertes, il est nécessaire de choisir des valeurs appropriées pour l'accroissement futur de la charge, les augmentations annuelles du prix du kWh et les taux annuels d'actualisation pendant la durée de vie économique du câble, qui peut être de 30 ans ou plus.

Il n'est pas possible de donner des indications précises sur le choix de ces facteurs économiques qui incombent au concepteur de l'installation et à l'utilisateur.

Lors de l'application des formules proposées dans les pages suivantes, il convient de ne pas oublier qu'elles sont basées sur l'hypothèse d'une stabilité des paramètres financiers sur toute la durée de vie économique du câble. Les observations précédentes sur les effets de ces paramètres sont néanmoins également valables ici.

Deux façons d'aborder le calcul de la section économique des câbles de puissance ont été développées dans cette étude, qui s'appuie sur les mêmes concepts financiers

Première méthode

Fondée sur la considération d'une série de sections d'âme, consiste à calculer une fourchette de courants économiques pour chacune des sections envisagées pour des conditions d'installation particulières et, ensuite, à choisir la section dont la fourchette économique répond à la valeur requise de la charge.

Deuxième méthode

Consiste à calculer la section optimale pour la charge requise et à choisir ensuite la section d'âme normalisée la plus proche.

4.1.3 Autres critères

On doit également considérer d'autres critères, tels les courants de court-circuit et leur durée, les chutes de tension et la gamme des sections d'âme normalisées.

Cependant un câble choisi du fait de sa section d'âme économique peut être également satisfaisant sur ces divers points, de sorte que, lors du dimensionnement d'un câble, il peut être utile de suivre la séquence suivante:

- ✓ Calculer la section d'âme économique;

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

- ✓ Vérifier que la section déterminée) est suffisante pour transporter la charge maximale prévue à la fin de la période économique, sans que la température de l'âme dépasse la valeur maximale admissible;
- ✓ Vérifier que la section de câble choisie peut supporter en toute sécurité les courants de court-circuit prévus et les courants de défaut à la terre pendant les durées correspondantes;
- ✓ Vérifier que la chute de tension à l'extrémité du câble reste dans les limites acceptables;
- ✓ Vérifier que la section de câble satisfait bien aux autres critères propres à l'installation.

Pour compléter le domaine du choix économique, il convient d'accorder une importance suffisante aux conséquences des interruptions d'alimentation.

Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser une section d'âme plus forte que ne l'exigent les conditions de charges normales et ou le choix économique, ou d'adapter le réseau en conséquence.

Les conséquences économiques financières entraînées par des décisions erronées, pondérées par un facteur de probabilité, peuvent également entrer dans les composantes du coût.

Cependant, cela conduit à pénétrer dans le domaine de la théorie de la décision, qui ne fait pas l'objet de cette étude.

Ainsi, le dimensionnement économique d'un câble ne représente qu'un des aspects économiques de la liaison dans son ensemble et peut céder le pas à d'autres facteurs économiques prépondérants.[13]

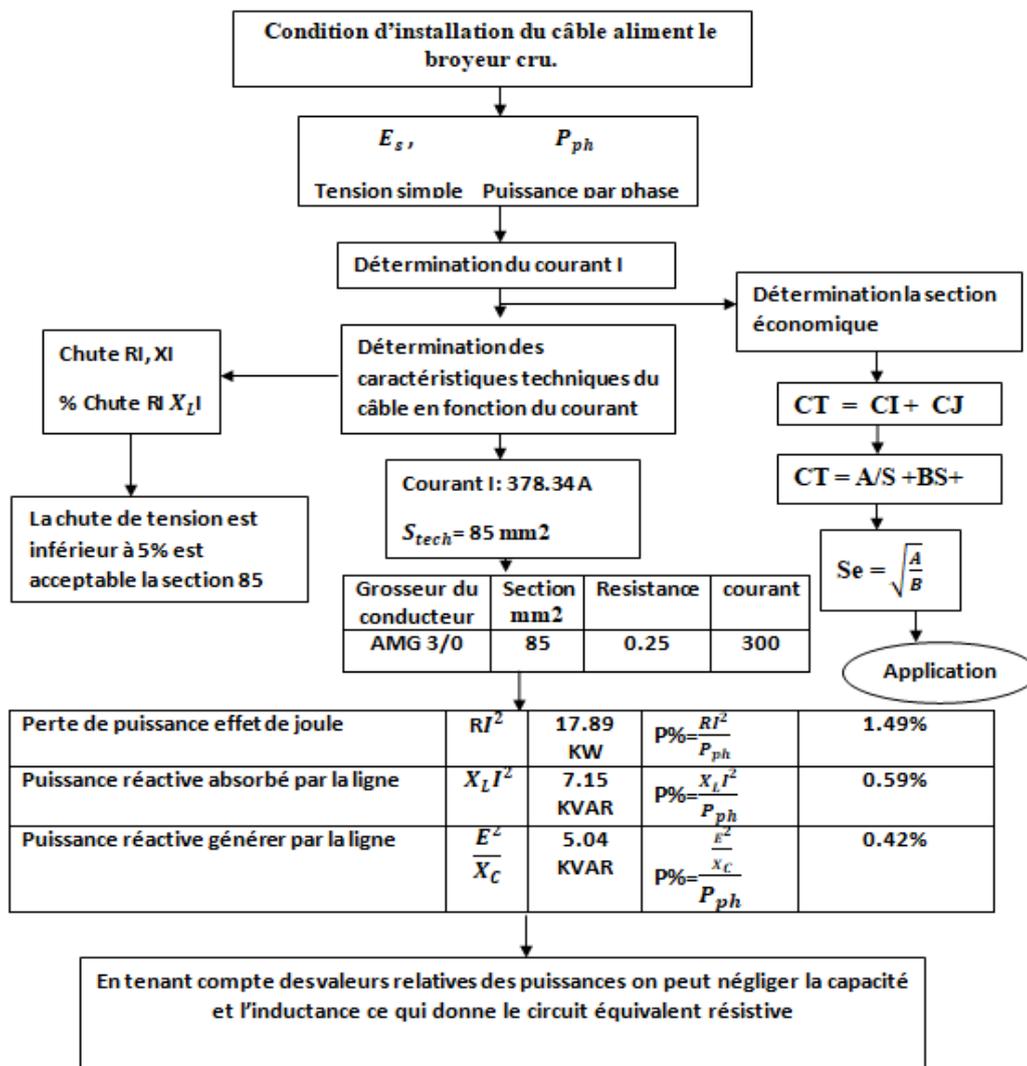


Figure 4.1 logigramme de calcul de la section technique et économique

Remarque

Dans ce travail, on a traité le choix du câble en tenant compte de deux paramètres essentiels :

- ✓ Chutes de tension
- ✓ Choix économique des sections des câbles basé sur les pertes par effet Joule et le prix par mètre linéaire.

4.2 Choix de la section en tenant compte des chutes de tension

Choix de la tension du câble alimentant le broyeur cru données de base :

- Puissance du moteur 3600 kW
- Longueur du câble 500m

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

4.3 Calcul des coûts totaux

4.3.1 Le coût total

Le cout totale d'installation et d'exploitation (CT) d'un câble pendant sa durée de vie économique exprime en valeur actualisé, se calcule comme exposé ci-après

$$CT = CI + CJ \quad DA \quad (4,1)$$

Ou :

- ❖ CT : coût total d'une liaison, DA / an ;
- ❖ CI : coût après installation de la longueur du câble, DA/an ;
- ❖ CJ : Valeur actualisée du cout des pertes par effet joule pendant une durée de vie économique de N années, DA/an

L'équation totale d'une liaison du câble peut prendre la forme suivante :

Avec N = 1 année

$$CT = CI + CJ = A/S + BS + C \quad , \quad DA/an \quad (4.2)$$

Pour avoir la section optimale, en dérivant l'équation)

$$S_{op} = \sqrt{\frac{A}{B}} \quad mm^2 \quad (4.3)$$

$$CT(S) = CI(S) + I_{max}^2 \cdot L \cdot \rho \cdot t \cdot k_u \cdot Pr \quad DA \quad ; \quad (4.4)$$

Où

- ❖ CT(S) = Coût total d'une liaison en fonction de la section.
- ❖ S = Section de l'âme du câble mm².
- ❖ S_{ec} = Section économique mm².
- ❖ CI(S) = Coût après installation d'un câble en fonction de sa section.
- ❖ FRS = Résistance linéiques en courant alternatif d'une âme en fonction de sa section, Ω /m.

L'équation donnant la relation entre CI(S) et la section d'âme peut être obtenue à partir des coûts connus de câbles de sections normalisées.

En général, s'il est possible d'adopter une relation approximativement linéaire aux coûts, éventuellement sur une gamme réduite de sections d'âme, il convient de l'utiliser

4.4 Calculer la section technique

4.4.1 Choix de la tension de la ligne

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

On a vu que la puissance P qu'une ligne peut transporter pour une régulation donnée est proportionnelle au rapport E^2/Z où E est la tension de ligne à ligne et Z son impédance.

Puisque cette impédance est proportionnelle à la distance à franchir, on en déduit que la tension d'utilisation E est donnée par une expression de la forme :

$$E = K \sqrt{P \cdot L} \quad (4.5)$$

Où :

- ❖ E = tension de ligne à ligne, KV
- ❖ P = puissance à transporté, KW
- ❖ L = distance de transport, KM
- ❖ K = facteur qui dépend de la régulation permise et du type de ligne pour une régulation de 5%
- ❖ $K = 0.1$ pour une ligne sans compensation
- ❖ $K = 0.06$ pour une ligne avec compensation

La formule (3, 19) fournit seulement un ordre de grandeur de la tension E car la valeur finalement choisie dépend de facteur économique et d'autre considération.

En général la tension adoptée est comprise entre : $0.6 E$ et $1.5 E$.

D'après la formule (3,19) :

$$E = 0.1 \sqrt{PL} = 0.1 \sqrt{3600 * 0.5} = 4.24 \text{ KV} \quad (4.6)$$

Toute tension comprise entre $0.6 * 4.24 \text{ KV} (=2.54 \text{ KV})$ et $1.5 * 4.24 \text{ KV} (=6.36 \text{ KV})$ est acceptable .

Parmi la tension normalisé utilisés en Algérie : 220v, 380v, 5500v, 10000v, 20000v

Utilisons une tension normalisée de 5.5 KV ligne à ligne,

Soit 3.17 KV ligne à neutre. =

$$E_c / 1.73 = 5.5 / 1.73 = 3.17 \text{ KV}$$

Le courant dans la ligne :

$$I = \frac{P}{1.73 * E} = \frac{3600 * 10^3}{1.73 * 5500} = 378.34 \text{ A} \quad (4.7)$$

Selon le courant calculé $I = 378.34 \text{ A}$ et d'après le tableau (4.1) , on a choisi un conducteur de section technique de 85 mm² dont les caractéristiques techniques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

Grosueur du conducteur	Section mm^2	Resistance par conducteur Ω/Km	Courant a l'air
AWG 3/0	85	0.25	420
AWG 600 MCM	304	0.072	750

Tableau (4.1) caractéristique du câble section, résistance et courant

Type de ligne	X_l Ω/Km	X_c Ω/Km
Câbles souterrains	0.1	3000

Tableau (4.2) Caractéristique du câble réactance inductive et réactance capacitive.[16]

❖ Resistance de chaque ligne = $0.25 \times 0.5 = 0.125 \Omega$

4.5 Valeur des impédances de ligne

Afin de donner l'ordre de grandeur des réactances inductives et capacitives, on donne le tableau (4.2) les valeurs approximatives de X_l et X_c pour les lignes pratiques fonctionnant a 60 HZ.

Chose surprenante, les valeurs par kilomètre sont à peu près constantes pour toutes les lignes aériennes et souterraines respectivement, indépendamment de leur tension ou de la puissance qu'elles transportent.

On note que les réactances capacitives des câbles triphasée est cent fois plus petites que celle des lignes aériennes ; la puissance réactive associe est donc 100 fois plus importantes.

La résistance par kilomètre dépend de la grosueur du conducteur, c'est pourquoi on ne peut pas en fournir une valeur moyenne.

la résistance par kilomètre et la capacité empirique de quelques conducteurs aériens d'après la spécification du fabricant.

Puissance active par phase = $3600/3 = 1200 \text{ KW}$

Courant de ligne = 378.34 A

D'après les tableaux (4.1) et (4.3) , on trouve les impédances approximatives suivantes :

❖ $x_l = 0.1 \Omega/KM$

❖ $x_c = 3000 \Omega/KM$

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

D'où :

❖ Résistance de la ligne : $R = r * L = 0.25 * 0.5 = 0.125 \Omega$

❖ Réactance inductive de la ligne : $X_L = x_l * L = 0.1 * 0.5 = 0.05 \Omega$

❖ Réactance capacitive de la ligne : $X_C = x_c / L = 3000 / 0.5 = 6000 \Omega$

❖ Puissance active total transportée, $p = 3600 \text{ KW}$

❖ Puissance transportée par phase est :

$$P_{ph} = P / 3 = 3600 / 3 = 1200 \text{ KW} \quad (4.8)$$

❖ Pertes par effet joule

$$Ri^2 = 0.125 * 378.34^2 = 17892.64 \text{ W} = 17.89 \text{ KW} \quad (4.9)$$

$$\% \text{ Perte} = \frac{17.89}{1200} * 100 = 1.49\%$$

Puissance réactive absorbée par la ligne =

$$X_L i^2 = 0.05 * 378.34^2 = 7157.05 \text{ W} = 7.15 \text{ KVAr} \quad (4.10)$$

Puissance réactive absorbée par La ligne :

$$\frac{0.05}{1200} * 100 = 0.59 \%$$

Puissance réactive générée par la ligne ;

❖ $\frac{E^2}{X_c} = \frac{5500^2}{6000} = 5041.66 \text{ W} = 5.04 \text{ KVAR} \quad (4.11)$

❖ $X_c i^2 = \frac{5.04}{1200} * 100 = 0.42 \%$

En tenant compte des valeurs relatives des puissances, on peut négliger l'inductance et la capacitance, ce qui donne le circuit équivalent des câbles alimentent le broyeur a cru ; composée d'une résistance de 0.125Ω

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

Chute RI dans chaque ligne:

$$RI = 0.125 * 378.34 = 47.29 \text{ V} \quad (4.12)$$

Chute RI par rapport à la puissance transportée au moteur :

$$\diamond \frac{47.29}{3170} * 100 = 1.49 \%$$

Chute XI dans chaque ligne:

$$\diamond XI = 0.1 * 378.34 = 37.84 \text{ V}$$

Chute XI de tension :

$$\diamond \frac{47.29}{3170} * 100 = 1.17 \%$$

Remarque

Selon les résultats de calcul, les valeurs des chutes de tension obtenu respectivement résistives et inductive RI% = 1.49 % et XI % = 1.17 % sont inférieures à la régulation permise qui est de l'ordre de 5% dans l'industrie, donc la section technique du câble de 85 mm² est acceptable.

4.6 Calcul la section économique

Methode analytique

$$CT = CI + CJ \quad DA/an$$

$$CJ = A/S \quad DA/an$$

$$CI = B S + C \quad DA/an$$

$$CT = A/S + B S + C \quad , \quad DA$$

$$\frac{dCT}{ds} = \frac{-A}{S^2} + B = 0 \quad , \quad B = \frac{A}{S^2} \quad (4.13)$$

$$S^2 = \frac{A}{B} \quad S_{ec} = \sqrt{\frac{A}{B}} \quad (4.14)$$

$$D_{min} = \frac{A}{S_{ec}} + B S_{ec} + C \quad , \quad DA \quad (4.15)$$

Recherche des paramètres de l'équation : A, B, C :

Données :

$$\diamond R = \frac{\rho_{\text{cui}} * L}{S}$$

$$\diamond L = \text{longueur de câble, } 500 \text{ m}$$

$$\diamond \rho = 21,23 \quad \Omega \cdot \text{m}$$

Courant :

$$\diamond I = 378.34 \text{ A}$$

Pour le câble en cuivre :

$$\diamond \rho_{0 \text{ cui}} = 21.23 \Omega \cdot \text{m}$$

Puissance = 3600 kW

$$\diamond t = 8760 \text{ h}$$

$$\diamond Pr = 1 \text{ DA/ KWh}$$

Facteur de

$$\diamond K_u = 0.5$$

Recherche du paramètre A :

$$\diamond R = \frac{\rho_{\text{cui}} * L}{S} \tag{4.16}$$

$$\diamond P = \frac{\rho_{\text{cui}} * L}{S} I^2 \tag{4.17}$$

Energie consommée :

$$\diamond E = P * t * 10^{-3} \text{ Km /an} \tag{4.18}$$

$$\diamond CJ = \frac{\rho_{\text{cui}} * L}{S} I^2 * t * K_u * Pr * 10^{-3} \text{ DA/an} \tag{4.19}$$

$$CJ = \frac{A}{S} ;$$

$$\diamond A = \rho_{\text{cui}} * L * I^2 * t * K_u * Pr * 10^{-3}$$

$$\diamond A = 21.23 * 500 * (378.34)^2 * 8760 * 0.5 * 1 * 10^{-3} \text{ DA / KWh}$$

$$\diamond A = 6.6 * 10^9 \text{ DA/an}$$

Recherche du paramètre B

$$\diamond CI = B S + C \text{ DA/an}$$

Chapitre 04 Choix de la section des conducteurs en moyenne et basse tension

$$\diamond B = \frac{y_{22} - y_{21}}{S_2 - S_1} = \frac{(2 \cdot 10^4 \cdot 500) - (3 \cdot 10^3 \cdot 500)}{304 - 85} = \frac{8500000}{219} = 38812.7 \quad (4.20)$$

Recherche le paramètre C:

On va remplacer quelque donné dans:

- ❖ $CI = B S + C \quad \text{DA/an}$
- ❖ $(2 \cdot 10^4 \cdot 500) = 38812.7(304) + C$
- ❖ $C = (2 \cdot 10^4 \cdot 500) - 38812.7(304) = 1799060.8$

$$S_{ec} = \sqrt{\frac{A}{B}}$$

$$S_{ec} = \sqrt{\frac{6.6 \cdot 10^9}{38812.7}} = 412.36 \text{ mm}^2 \quad (4.21)$$

$$CT = A/S + BS + C = 6.6 \cdot 10^9 / 412.36 + 38812.7 \cdot 412.36 + 1799060.8 = 3799154.1 \text{ DA/an}$$

Méthode graphique :

CT ----- DA * 10²

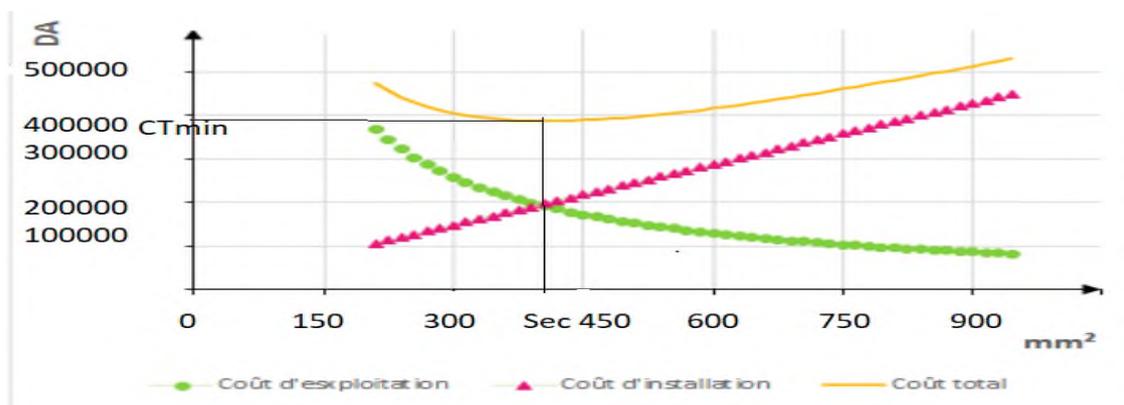


Figure 4.2 Représentation des coûts d'installation et d'exploitation en fonction de la section électrique du câble.

Conclusion :

$S_{ec} > S_{tec}$ Alors on va prendre la section la plus grande qui assure le minimum des dépense malgré la section économique est inférieur a la section technique.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Dans ce on a fait une proposition d'un logigramme des sections des câbles MT par des étapes suivants ;

Chapitre 01 : la définition des réseaux électriques et la production ainsi ces classifications.

Chapitre 02 ; la description de l'entreprise d'el-ma-labiod et calcule les charges électriques

Chapitre 03 : on étudier les lignes aériennes, les câbles souterrains et la comparaison entre les deux types.

Chapitre 04 : on a fait la logigramme des sections des câbles MT par les résultats préparés

des Les résultats de recherche obtenus dans le cadre de ce projet sur la détermination des sections de conducteurs moyenne et basse tension, en proposant un logigramme du choix de la section optimale ,qui peut être applique non seulement pour le câble alimentent le broyeur cru de la cimenterie EL MA –LABIOD mais sera utile pour le secteur électrique et industriel où les condition d'application sont favorables .

Grace à ce logigramme on peut savoir la section économique qui nous assure le minimum de dépense.

Car le moteur qui entraine le broyeur cru joue un rôle très important dans l'entreprise d'une puissance nominale de 3600 KW, représente les 16 % de la consommation de l'entreprise en énergie.

Référence

- [1] MR AMENACHE YAZID MELLE BEKKOU DJEDJIGA «Restructuration du réseau électrique moyenne tension 30Kv de la région AZAZGA» Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [2] melle h. belmahdi melle n. abdelli « etude de la protection d'un réseau de distribution moyenne tension application au poste de transformation et de distribution ht/mt oued aïssi / tizi-ouzou» mémoire de fin d'études, université mouloud mammeri – tizi-ouzou.
- [3] m. aoun mohamed m. boulakeur faiz « etude pratique du système de protection installé au niveau de réseau sonal gaz» mémoire de fin d'études, universite akli mohand oulhadj – bouira (algerie).
- [4] terkia nabeche fatima tezkraat « restructuration du réseau électrique mt de la région de fréha pour alimentation du pôle d'excellence de tamda » mémoire de fin d'études, universite mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- [5] sari loubna diabi chaima « etude d'un réseau de transport d'énergie à haute tension 90 kv » mémoire de fin d'études, universite badji mokhtar annaba.
- [6] soutou yacine chabane madjid guezoui farid « etude des protections d'un depart moyenne tension application poste 60kv / 30 kv de tizi-meden » mémoire de fin d'études, université mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- [7] farid hamoudi « réseaux de transport et de distribution électrique » photocopié, université a/mira- bejaia.
- [8] boukadoum aziz « contribution à l'analyse et la reduction de la pollution harmonique dans le reseau electique » mémoire de fin d'études, universite badji mokhtar annaba.
- [9] Traoré massitan « gestion du systeme photovoltaïque d'une alimentation privée connecte au reseau » mémoire de fin d'études, universite badji mokhtar annaba.
- [10] zellagui mohamed « étude des protections des réseaux électriques mt (30 & 10 kv) » mémoire de fin d'études, universite mentouri constantine.
- [11] guide de conception des réseaux électriques industriels 2014.
- [12] fergani ouanassa samia thèse doctorat université djilali liabes de sidi-bel-abbès
- [13] cours donné à l'institut d'électricité Montefiore université de liège j.l. lilien2013
- [14] rapport de la fabrication de ciment par la cimenterie d'el- ma-labiod
- [15] sellé Touré. optimisation des réseaux : réseau actif et flexible. Énergie électrique. université de grenoble , 2014. français
- [16] Gilbert Sybille, Theodore wlidi 1979 charges électrique