

République Algérienne Démocratique et Populaire



**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Spécialité : Génie électrique

Option : Réseaux Electriques

Thème

**Optimisation de la compensation de
l'énergie réactive dans les réseaux
électriques**

Soutenu le JUIN 2010

Présenté par :

GUEDDA BRAHIM

MESBAHI NABIL

Dirigé par :

Mr. DJEGHADIR YACINE

2009-2010

Remerciement et reconnaissance

Nous remercieront tout d'abord au dieu tout puissant pour la volonté , la santé et la patience ; qu'il nous a donné durant toutes ces années d'études.

*Ainsi on doit remercier infiniment notre promoteur de mémoire monsieur * **DJEGHADIR YACINE** * pour les précieux conseils et son soutien.*

Ainsi on doit remercier nos collègues d'étude à toute Promotion 2009/ 2010

Et enfin, à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce modeste travail de près ou de loin.

Brahim et Nabil

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A tous les membres de ma famille grand et petit surtout mes parents, mes grands parents.

A tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur d'état en électromécanique.

A tous mes amis .

A tous les étudiants de la faculté en génie électrotechnique surtout les étudiants de la 3^{ème} année promotion 2010.

A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même qu'il soit un mot d'encouragement et de gentillesse.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

A tous ceux qui connaissent GUEDDA BRAHIM.

GUEDDA BRAHIM.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A tous les membres de ma famille grand et petit surtout mes parents, mes grands parents.

A tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur d'état en électromécanique.

A tous mes amis .

A tous les étudiants de la faculté en génie électrotechnique surtout les étudiants de la 3^{ème} année promotion 2010.

A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même qu'il soit un mot d'encouragement et de gentillesse.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

A tous ceux qui connaissent MESBAHI NABIL.

MESBAHI NABIL.

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
---	---

Chapitre I

Généralités sur les réseaux électrique

I. Introduction.....	3
II. Topologie des réseaux.....	3
III. Constitution des réseaux électriques.....	4
III.1. Les centrale électriques	4
III.2. Les postes électriques	5
III.3. Les lignes électriques.....	5
III.3.1. Les câbles conducteurs.....	6
III.3.2. Les isolateurs	6
IV. Description des réseaux électriques	6
IV.1. Le réseau de transport THT.....	6
IV.2. Le réseau de répartition HT	7
IV.3. Le réseau de distribution MT.....	8
IV.4. Le réseau de livraison BT	8
V. Les classes de tension	8
VI. Evolution des réseaux	9
VI.1. Développement économique	9
VI.2. Evolution des puissances.....	9
VII. But de l'étude d'un réseau électrique.....	9
VIII. Conclusion	9

Chapitre II

Calcul préalable et choix des sections

Généralités	10
I. Modèle Etudié	11
II. Orientations de sens des puissances	12
III. Dimensionnement des conducteurs	12

III-1 Calcul de la répartition des puissances.....	12
III.2 Calcul les courants dans les lignes.....	14
IV. Définition et normalisation des paramètres de la ligne	15
V. Les impédances des lignes	16
VI. Conclusion	16

Chapitre III

Etude du régime réel

I .1. Introduction	17
II. Etude du réseau réel	18
II.1.Calcul les puissances capacitives des lignes en [MVar].....	18
II.2.Calcul les puissances des nœuds en [MVA].....	18
II.3. Calcul les puissances qui transitent dans les lignes.....	18
II.4.Détermination des chutes de tension en [KV].....	19
II.5.Détermination des tensions aux niveau de chaque nœud.....	19
II.6.Détermination les écarts des tensions en [%].....	20
II.7. Discussion.....	20
III. Etude du réseau futur	20
III.1. Régime future après 10 ans	21
III.1.1. Calcul les puissances qui transitent dans les lignes en [MVA].....	21
III.1.2.Calcul les chutes de tensions en [KV].....	21
III.1.3. Calcul les tensions en [KV].....	22
III.1.4. Calcul les Modules en [KV].....	22
III.1.5. Calcul les écarts relatifs en (%)	22
III.1.6. Discussion	22
III.2. Régime future après 20 ans	22
III.2.1. Calcul les puissances qui transitent dans les lignes en [MVA].....	23
III.2.2.Calcul les chutes de tensions en [KV].....	23
III.2.3. Calcul les tensions en [KV].....	23
III.2.4. Calcul les Modules en [KV].....	23

III.2.5. Calcul les écarts relatifs en (%)	23
III.2.6. Discussion	24
IV. Conclusion	24

Chapitre IV

Compensation de l' énergie réactive

I. Généralités.....	25
II. Facteur de puissance.....	25
III. Compensation de l' énergie réactive	26
IV. Avantages du relèvement du facteur de puissance.....	28
IV.1.Diminution de la section des câbles.....	28
IV.2.Diminution des pertes en ligne	28
IV.3.Réduction de la chute de tension	28
IV.4.Augmentation de la puissance disponible.....	28
V. Principe de la compensation.....	28
V.1.Moyens de compensation	29
V.2. Principe et intérêt de la compensation automatique.....	29
V.3. Modes de compensation	30
V.3.1.Compensation globale.....	30
V.3.2.Compensation partielle.....	31
V.3.3.Compensation locale.....	32
V.4.Avantages et inconvénients des trois types de compensation.....	32
V. Conclusion	33

Chapitre V

Optimisation de la compensation

I. Introduction.....	34
II. Résultats de compensation.....	35
II.1. Le régime actuel.....	35
II.1.2. Discussion.....	38
II.2. Régime future « Après 10 an »	39
II.2.2. Discussion.....	40
III.Conclusion.....	40
<i>Conclusion générale</i>	41

Introduction générale

L'électrotechnique est la science qui s'occupe des applications pratiques de l'électricité .Elle étudie la production, le transport, la distribution et la transformation de l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie.

L'énergie électrique possède des propriétés très précieuses : elle peut être produite de façon assez simple à partir des autres formes d'énergie (mécanique, thermique, chimique, nucléaire, etc.) et être transmise, avec de faibles pertes, à de grandes distances vers les villes, les usines et les fabriques à partir des réseaux électriques.

Les réseaux électriques sont le siège de phénomènes électromagnétiques complexes, dus à la diversité des interactions entre le récepteurs et les éléments du réseau (ainsi qu' avec l'environnement) , et leur déploiement, en général, sur des territoires très larges.

En l'absence des mesures préventives et des moyens de contrôle, les effets qui en découlent peuvent conduire à des régimes irrationnels voire inadmissible, de leur fonctionnement.

Pour optimiser leurs régimes de fonctionnement et, par conséquent , rentabiliser leur exploitation, il est nécessaire de concevoir des réseaux autant rationnels que possible, de manière à profiter au maximum des, biens faits des phénomènes électromagnétiques en réduisant, le plus possible , leurs effets in convenables .

Du fait que le réseau à élaborer est partie intégrante d'un système électromagnétique d'ensemble, sa conception doit se conformer à des critères technico-économique définis concernant son propre fonctionnement ainsi qu'à des contraintes imposées par l'ordre hiérarchique fonctionnel du dit système.

Les problèmes ainsi posés en deux temps , en temps différé pendant leur conception et en temps réel pendant leur gestion. Ces problèmes sont posés dans le cadre global qu'est l'optimisation des grands systèmes.

De nos jours, la distribution de l'énergie électrique est en augmentation à cause de l'industrialisation mais aussi de la croissance démographique. Le besoin de construire de nouveaux équipements (Lignes, centrales..) se fait sentir mais les pressions écologistes, les lourdeurs administratives et surtout les contraintes économiques rendent difficiles leurs constructions. Ce contexte est représenté les méthodes de compensation l'énergie réactive dans les réseaux électriques.

Dans le premier chapitre, on a étudié certaines généralités sur les réseaux électrique et notions fondamentales par le traitement des points essentiels.

Par la suite dans le deuxième chapitre on a fait un calcul préalable qui nous permet de choisir les sections des conducteurs, ainsi que la détermination des paramètres du réseau électrique. Dans le troisième chapitre nous avons étudié le régime réel actuel, ainsi que le régime futur (après 10 ans et après 20 ans avec notre hypothèse proposée).

Notre quatrième chapitre est destiné pour définir les notions de bases de la compensation de l'énergie réactive et le besoin de la compensation dans les réseaux électriques, ainsi que leurs importances.

Dans le cinquième chapitre on a fait une optimisation de la compensation d'énergie réactive côté coût et lieux. En utilisant les batteries de condensateurs qui sont actuellement le moyen le plus économique et le plus simple pour la production d'énergie réactive.

En fin on sort avec des bons résultats qui montrent l'efficacité de la méthode utilisée.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux électriques

I. Introduction

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable, il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines (centrales électriques) capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu'chez le consommateur. Dans un pays, le transport et la distribution publique assurent le transit de l'énergie électrique entre les points de production et les points de consommation. Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux maisons de campagne les plus éloignées (**fig. I.1**). L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes étant proportionnelles au carré de l'intensité) puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final.

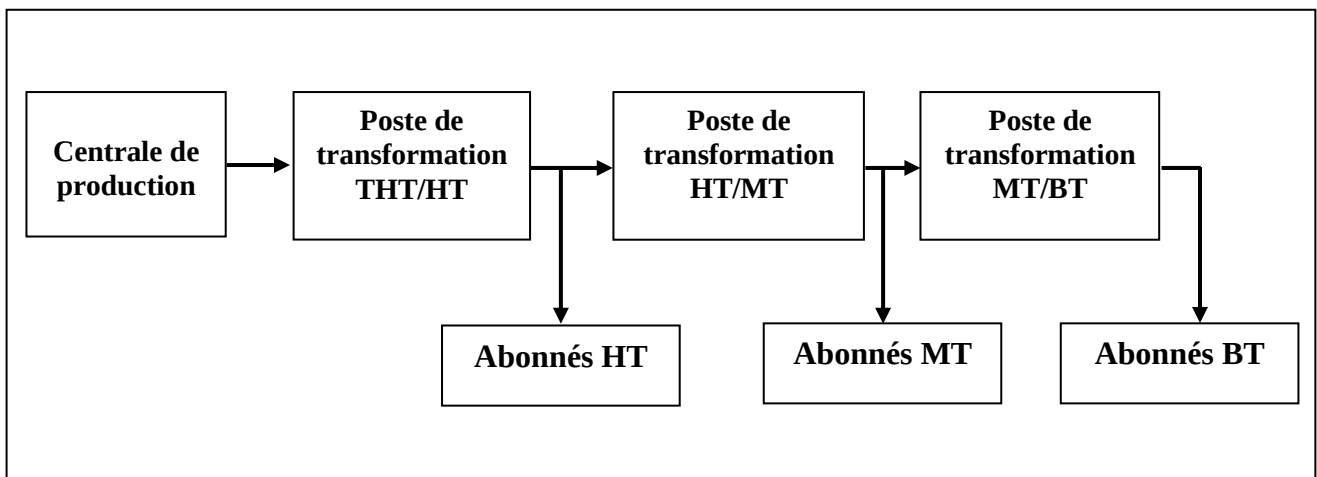


Fig. I.1: Schéma d'un réseau électrique

II. Topologie des réseaux

Les réseaux de transport d'énergie et d'interconnexion sont, par nature, constitués d'ouvrages capables de forts transits et maillés. Les liaisons forment des boucles, réalisant ainsi une structure semblable aux mailles d'un filet (**fig. I.2a**).

Les réseaux de répartition qu'ils alimentent ont fréquemment une structure bouclée (**fig. I.2b**) et peuvent alors être exploités soit en boucle fermée, le réseau est dit bouclé, soit en boucle ouverte, le réseau est alors dit débouclé. Certaines alimentations se font aussi en antenne (**poste G, fig. I.2b**) ou encore en piquage en prélevant une partie de l'énergie circulant sur une ligne reliant deux postes (**poste H, fig. I.2b**).

Ces réseaux de répartition à caractère régional fournissent l'énergie aux réseaux de distribution qui sont des réseaux à moyenne tension assurant l'alimentation d'un grand nombre d'utilisateurs soit directement, soit après transformation en basse tension. Leur configuration et leur mode d'exploitation sont variables. On peut trouver, selon les pays, des réseaux maillés exploités débouclés, des réseaux à structure radiale (**fig. I.2d**) ou des réseaux à structure arborescente (**fig. I.2c**). D'une façon générale, ce sont les caractéristiques des sources de production, les besoins des utilisateurs et l'expérience d'exploitation qui, ajoutés à des considérations économiques, conduisent à choisir la structure topologique des réseaux.

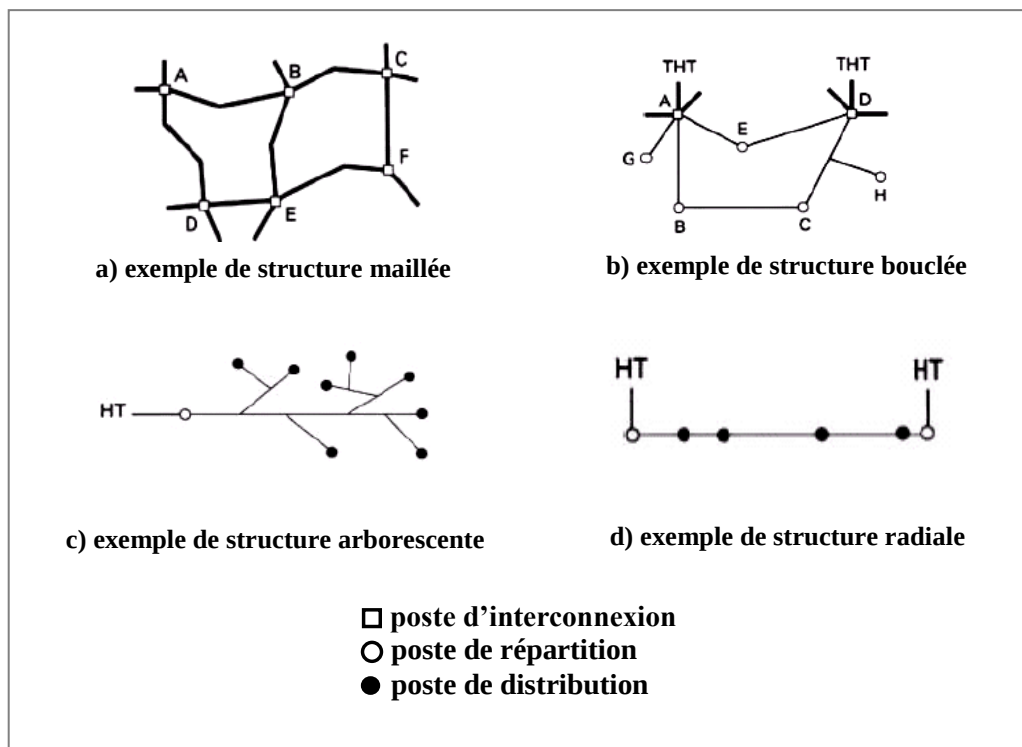


Fig. I.2 : Topologie des réseaux

III. Constitution des réseaux électriques

III.1. Les centrales électriques

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

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

- Les centrales éoliennes.

Les éléments indispensables à la production de courant électrique sont :

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

III.2. Les postes électriques

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

- Les **postes à fonction d'interconnexion**, qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés .
- Les **postes de transformation**, dans lesquels il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liés par un ou plusieurs transformateurs ;
- Les **postes mixtes**, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées par l'appareillage à haute et très haute tension installé dans le poste et qui permet :

- D'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux disjoncteurs .
- D'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux sectionneurs .
- De modifier la tension de l'énergie électrique, grâce aux transformateurs de puissance.

Un ensemble de protections et d'automates contrôle les grandeurs électriques réduites, élaborées par des réducteurs de mesure (tension et courant principalement) et agit sur l'appareillage à haute tension afin d'assurer les conditions d'exploitation pour lesquelles le réseau a été conçu. Nous retiendrons donc que, par définition, les appareils de coupure, ainsi que l'appareillage de mesure et de protection propre à un départ, sont regroupés dans une cellule. Un poste comporte donc autant de cellules que de départs qui sont raccordés à ses jeux de barres. En outre, les jeux de barres sont susceptibles de constituer plusieurs nœuds électriques par l'ouverture de disjoncteurs, on appelle alors sommet le jeu de barres ou le tronçon de jeu de barres ainsi constitué. Le nombre des sommets d'un poste caractérise ainsi son aptitude à former des nœuds électriques.

III.3. Les lignes électriques

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

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

Nous distinguons quatre types de lignes :

- Ligne de distribution à basse tension .
- Ligne de distribution à moyenne tension .
- Ligne de transport à haute tension .
- Ligne de transport à très haute tension.

III.3.1. Les câbles conducteurs

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

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

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

III.3.2. Les isolateurs

L'isolation entre les conducteurs et les pylônes est assurée par des isolateurs (chaînes d'isolateurs). Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou en matériau synthétique. Les isolateurs verre ou céramique ont en général la forme d'une assiette.

On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'isolateurs dans la chaîne est important.

IV. Description des réseaux électriques

IV.1. Le réseau de transport THT

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation.

C'est sur le réseau THT que sont en principe branchés les centrales de grandes puissances (> 300 MW).

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud A, B et C (**Fig. I.3**) constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils.

Ces réseaux sont pour la plupart aériens et souterrains dans les villes ou à leur approches. Ils sont étudiés pour un transit donné correspondant en général à la limite thermique de la ligne. Une attention particulière doit être portée à l'effet couronne qui peut donner lieu en THT, à des pertes très significatives suivant le climat et l'altitude. Les pylônes de lignes sont équipés en général de deux ternes (2 fois 3 phases) voir quatre et même six ternes.

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

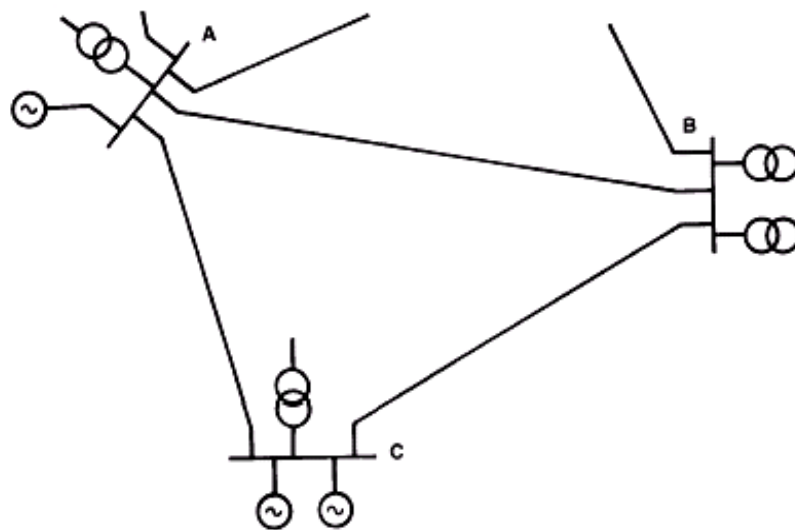


Fig. I.3 : Exemple d'une partie d'un réseau de transport

IV.2. Le réseau de répartition HT

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

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

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

IV.3. Le réseau de distribution MT

Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant de centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport.

Des lignes de distribution à moyenne tension (MT) partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir; ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements.

IV.4. Le réseau de livraison BT

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

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

Ce réseau permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Sa structure, de type aérien ou souterrain, est souvent influencée par l'environnement.

V. Les classes de tension

La tension choisie pour un réseau impose que tous les appareils incorporés ou raccordés à ce réseau possèdent un isolement suffisant.

L'échelle des tensions utilisées dans le réseau d'énergie est très grande puisqu'elle va de quelques dizaines de volts à près du million de volts, à l'intérieur de cette échelle, on distingue les classes suivantes :

- Les très basses tensions : ce sont les tensions <50 volts.
- Les basses tensions de : 50 à 1000 volts.
- La moyenne tension de : 1000 à 50.000 volts.
- La haute tension de : 50 à 220 KV.
- La très haute tension : à partir de 220 KV.

VI. Evolution des réseaux**VI.1. Développement économique :**

Le développement économique étant étroitement lié à l'accroissement de la consommation d'énergie électrique. Nous pouvons avancer l'hypothèse que cet accroissement mesure le niveau de civilisation. Il faut cependant souligner que les plus élevés dans les en voie de développement.

VI.2. Evolution des puissances:

Pour des raisons économiques « comme il a été souligné plus haut » les puissances des unités de production tendent à croître. L'évolution des puissances entraîne celle des énergies produites ou consommées, cependant, un facteur supplémentaire est à prendre en considération celui de la forme des courbes de charges, courbes représentant la variation de la puissance dans le temps « journée, semaine, année ».

L'accroissement plus rapide de la puissance en 30KW est du à l'impact l'industrialisation et de l'électrification des zones rurales.

VII. But de l'étude d'un réseau électrique

En pratique , on ne peut pas obtenir une qualité parfaite qui suppose une fourniture continue à tension et à fréquence constante, mais on doit toujours chercher à s'en rapprocher le plus possible. Pour cela, l'exploitant du réseau de distribution doit mettre à sa disposition des moyens destinés à réduire aussi bien le nombre que la durée des interruptions ainsi que le maintien de la tension voisine de sa valeur nominale.

L'étude de ces moyens pour l'obtention d'une bonne qualité de service nécessite la connaissance du fonctionnement du réseau de distribution à ses états sain et d'incident.

VIII.Conclusion

On a fait dans ce chapitre une étude générale du réseau électrique, avec l'étude de ses différents composants nécessaire à la production, au transport, à la distribution et à la livraison de l'énergie électrique. Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs.

Le réseau électrique doit permettre de livrer aux utilisateurs un bien de consommation adapté à leurs besoins, caractérisé par :

- Une puissance disponible, fonction des besoins quantitatifs du client .
- Une tension fixée, fonction de cette puissance et du type de clientèle .
- Une qualité traduisant la capacité à respecter les valeurs et la forme prévues de ces deux paramètres et à les maintenir dans le temps.

Chapitre II

Calcul préalable et choix de sections

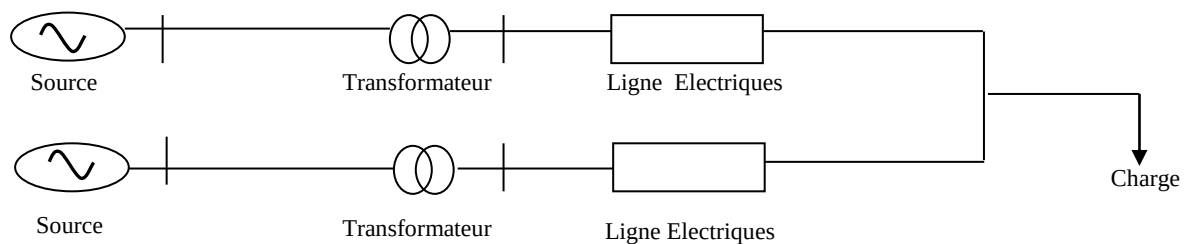
Généralités :

Les réseaux mailliques sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue aux mailles d'un filet, de plus, le nombre de sources débitant en parallèle peut atteindre plusieurs dizaines. Cette structure nécessite que tous les trunks de ligne soient capables de supporter des surcharges permanentes et qu'ils soient munis à leurs deux extrémités d'appareils de coupure et des isolants en cas d'avarie. On obtient ainsi une meilleure sécurité, mais à un prix plus cher, mais cette structure permet la fourniture de l'énergie électrique pour chaque consommateur au moins par deux voies.

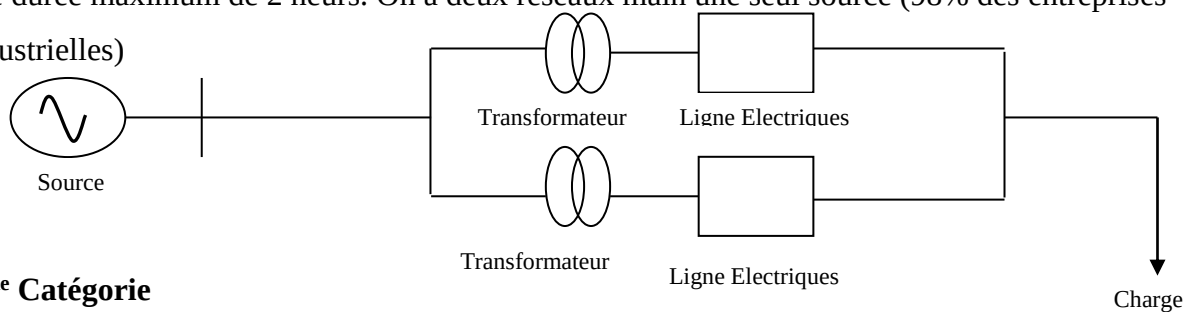
Il existe trois catégories de consommateurs et qui sont classés selon leur dépendance capitale à l'énergie électrique.

1^{ère} Catégorie

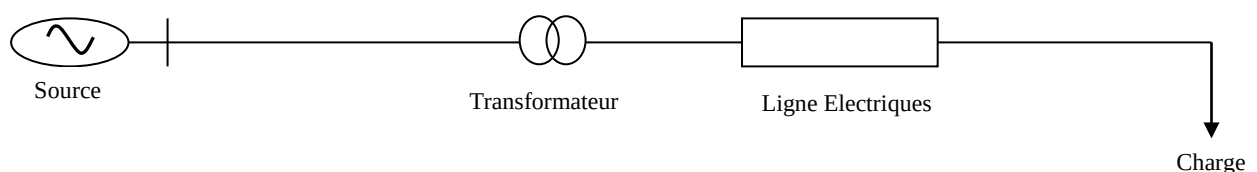
Se sont les consommateurs qui n'admettent pas la rupture de la fourniture de l'énergie électrique sauf où un temps ne dépassent pas 1,5 s (temps nécessaire à l'enclenchement automatique de la source de secours)

**2^{ème} Catégorie**

Se sont les consommateurs qui n'admettent pas la fourniture de l'énergie électrique pendant une durée maximum de 2 heures. On a deux réseaux mais une seule source (98% des entreprises industrielles)

**3^{ème} Catégorie**

Se sont les consommateurs qui n'admettent pas la coupure de la fourniture de l'énergie électrique pendant le temps nécessaire de la répartition tant que ce délai excède 24 heures.



I. Modèle Etudié :

Notre application à été faite sur un réseau de transport d'énergie électrique de tension 220 KV , représenté comme suit :

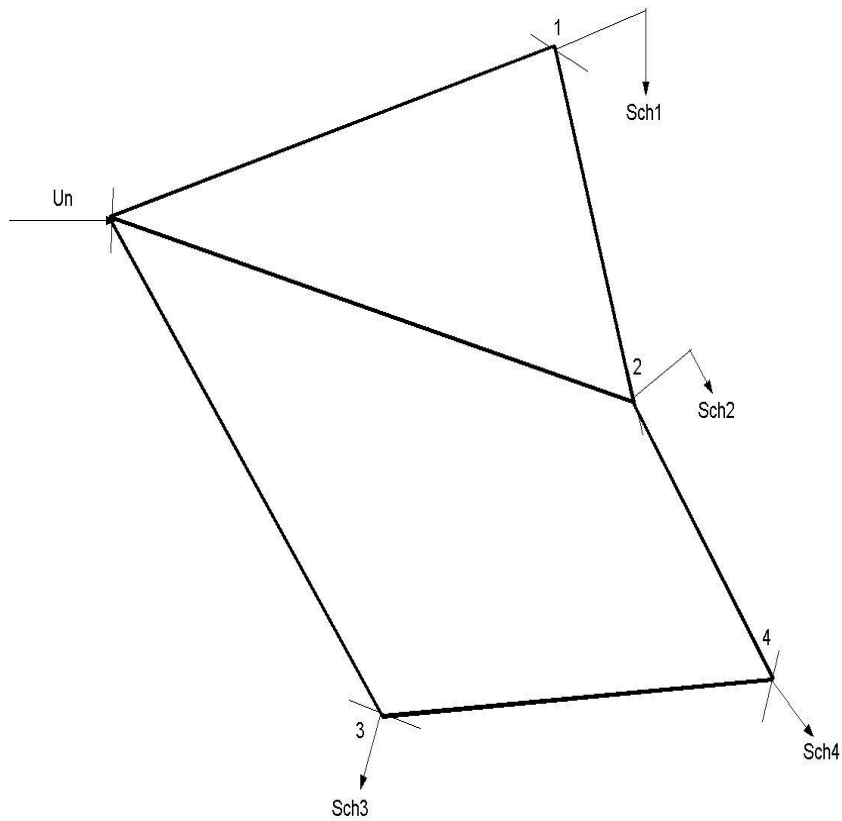


Figure II..1. Réseau Etudié.

❖ Les données du réseau :

Poste N°1: $S_{ch1} = (120+j100)$ MVA

Poste N°2: $S_{ch2} = (100+j85)$ MVA

Poste N°3: $S_{ch3} = (140+j100)$ MVA

Poste N°4 : $S_{ch4} = (100+j90)$ MVA

❖ Les longueurs des lignes

$L_1=60 \text{ KM}$, $L_2=40 \text{ KM}$, $L_3=70 \text{ KM}$, $L_4=65 \text{ KM}$, $L_5=50 \text{ KM}$, $L_6=35 \text{ KM}$.

$J = 1 \text{ (A/mm}^2\text{): (Densité économique du courant)}$

$U_n=220 \text{ KV}$: la tension nominale .

II. Orientations de sens des puissances

On choisi un sens arbitraire comme monter sur la figure suivante.

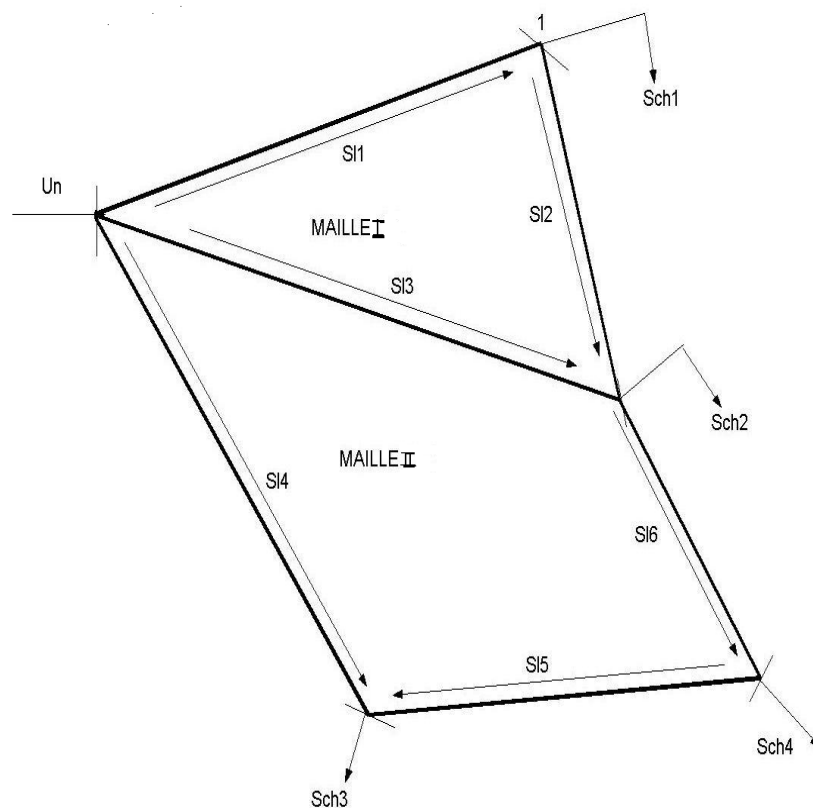


Figure .II.2. Sens des puissances transitées

III. Dimensionnement des conducteurs**III-1 Calcul de la répartition des puissances**

Dans ce cas on suppose que les pertes de puissances sont négligeable et que le réseau est homogène, c'est à dire les paramètres linéiques des différents troncons sont égaux.

On écrit alors les équations suivantes :

➤ Les équations des mailles :

$$\text{Maille I : } Sl_1.l_1 + Sl_x.l_2 - Sl_3.l_3 = 0 \dots\dots\dots (II.1)$$

$$\text{Maille II : } Sl_3.l_3 + Sl_y.l_6 + Sl_5.l_5 - Sl_4.l_4 = 0 \dots\dots\dots (II.2)$$

➤ Les équations dans les noeuds:

$$\text{Noeud 01: } Sl_1 - S_{ch1} - Sl_x = 0 \dots\dots\dots (II.3)$$

$$\text{Noeud 02: } Sl_x + Sl_3 - S_{ch2} - Sl_y = 0 \dots\dots\dots (II.4)$$

$$\text{Noeud 03: } Sl_y - S_{ch4} - Sl_5 = 0 \dots\dots\dots (II.5)$$

$$\text{Noeud 04: } Sl_5 + Sl_4 - S_{ch3} = 0 \dots\dots\dots (II.6)$$

Après simplification on trouve :

$$\left\{ \begin{array}{l} Sl_1 = S_{ch1} + Sl_x \dots\dots\dots (II.7) \\ Sl_2 = Sl_x \dots\dots\dots (II.8) \\ Sl_3 = S_{ch2} + Sl_y - Sl_x \dots\dots\dots (II.9) \\ Sl_4 = -Sl_y + S_{ch4} + S_{ch3} \dots\dots\dots (II.10) \\ Sl_5 = Sl_y - S_{ch4} \dots\dots\dots (II.11) \\ Sl_6 = Sl_y \dots\dots\dots (II.12) \end{array} \right.$$

Après remplacement on a :

$$(S_{ch1} + Sl_x) l_1 + Sl_x.l_2 - (S_{ch2} + Sl_y - Sl_x) . l_3 = 0$$

$$(S_{ch2} + Sl_y - Sl_x).l_3 + Sl_y.l_6 + (Sl_y - S_{ch4}).l_5 - (-Sl_y + S_{ch4} + S_{ch3}).l_4 = 0.$$

$$(l_1 + l_2 + l_3).Sl_x - l_3.Sl_y + (S_{ch1}.l_1 - S_{ch2}.l_3) = 0 .$$

$$-l_3.Sl_x + (l_3 + l_4 + l_5 + l_6).Sl_y + (S_{ch2}.l_3 - S_{ch4}.l_5 - S_{ch4}.l_4 - S_{ch3}.l_4) = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 170.Sl_x - 70.Sl_y + 200 + j50 = 0 . \\ -70.Sl_x + 220.Sl_y - 13600 - j12050 = 0 \end{array} \right.$$

Les résultats de calcul nous donne les valeurs des puissances transiteées représentées dans le tableau suivant :

Tab II.1 :

Sl_i	$S^* \text{ [MVA]}$
Sl_x	27,93807+j25,6218
Sl_y	70,75075+j62.93944
Sl_1	147,93807+j125.62183
Sl_2	27,93807+j25.62183
Sl_3	142,7695+j122.31761
Sl_4	169,29243+j137.06056
Sl_5	-29,29243-j27.06056
Sl_6	70,70757+j62.93944

III.2 Calcul du courants dans les lignes:

Pour caculer les courants circulant dans les lignes , en utilisant la formule suivante :

$$I_i = \frac{S_{li}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{U_n} \quad (\text{II.13})$$

Les résultats de calcule nous donne les valeurs des puissances transiteés représentées dans le tableau II.2 :

Tab II.2 :

I_i	$I^* \text{ (KA)}$
I_1	0,38823+j0,32967
I_2	0,07331+j0,06723
I_3	0,37467+j0,321
I_4	0,44427+j0,35969
I_5	-0,07687-j0,07093
I_6	0,18555+j0,16517

➤ D'après le catalogue on tire les sections des conducteurs comme suit :

$I_1=0.50931$ KA → AC 300 mm².

$I_2=0.0994$ KA → AC 120 mm²

$I_3=0.49337$ KA → AC 300 mm²

$I_4=0.57162$ KA → AC 300 mm²

$I_5=0.10459$ KA → AC 185 mm²

$I_6=0.24237$ KA → AC 240 mm²

IV. Définition et normalisation des paramètres de la ligne:

La résistance: $R=r_0.L$

La résistance est une impédance dans l'aquelle on peut pas émmagasiner aucune énergie .

La réactance :

Elle est due aux effets du champ mangnétique qui s'établie autour et à l'intrieur du conducteur lors du passage courant à une fréquence donnée.ce dernier induit une FEM qui s'opposer au courant.

$X=x_0.L$, $x_0 =L_0. \omega$, pour $f=50\text{HZ}$

La susceptence :

La capacité d'une ligne est déterminée par la différence de potentiel entre la ligne et la terre. Les effets de cette capacité sont dûe aux champ électrique entre la phase et la terre,et les phases entres elles : $b_0=c_0. \omega$

La conductance :

La conductance est un paramètre du système qui permet d'évaluer les pertes actives par conductance dans le circuit de fuite (circuit entre phase et terre). Existe dans les réseaux à utrès hautes tension.

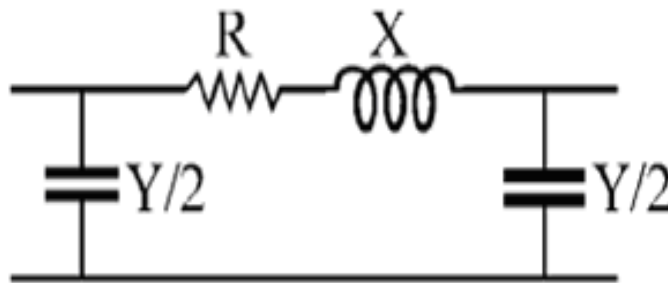


Figure II..3. Schéma équivalent d'un réseau electrique.

Les paramètres linéiques du réseau étudié sont dans le tableau suivant

Tab II.3 :

LIGNE	AC(mm ²)	Ro(Ω)	Xo(Ω)	Bo.10 ⁻⁶ (SIEMENS)
1	300	0,098	0,422	2,71
2	120	0,25	0,403	2,84
3	300	0,098	0,422	2,71
4	300	0,098	0,422	2,71
5	185	0,156	0,384	2,84
6	240	0,12	0,43	2,66

VI.1.Les impédances des lignes :

D'après le tableau précédent qui représente les différents paramètres linéiques de la ligne, on peut définir les paramètres réels en multipliant par les longueurs, en utilisant la formule suivante :

$$Z_i = (R_i + jX_i) \cdot l_i \quad (II.14)$$

On trouve les impédances suivantes :

- $Z_1 = 5.34 + j25.32 \quad \Omega$
- $Z_2 = 10 + j16.12 \quad \Omega$
- $Z_3 = 6.23 + j29.54 \quad \Omega$
- $Z_4 = 5.78 + j27.43 \quad \Omega$
- $Z_5 = 7.8 + j19.2 \quad \Omega$
- $Z_6 = 4.2 + j15.05 \quad \Omega$

V. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait :

Un calcul préalable de notre réseau électrique pour un but de déterminer les sections des conducteurs, ainsi que les paramètres linéiques des réseaux électriques.

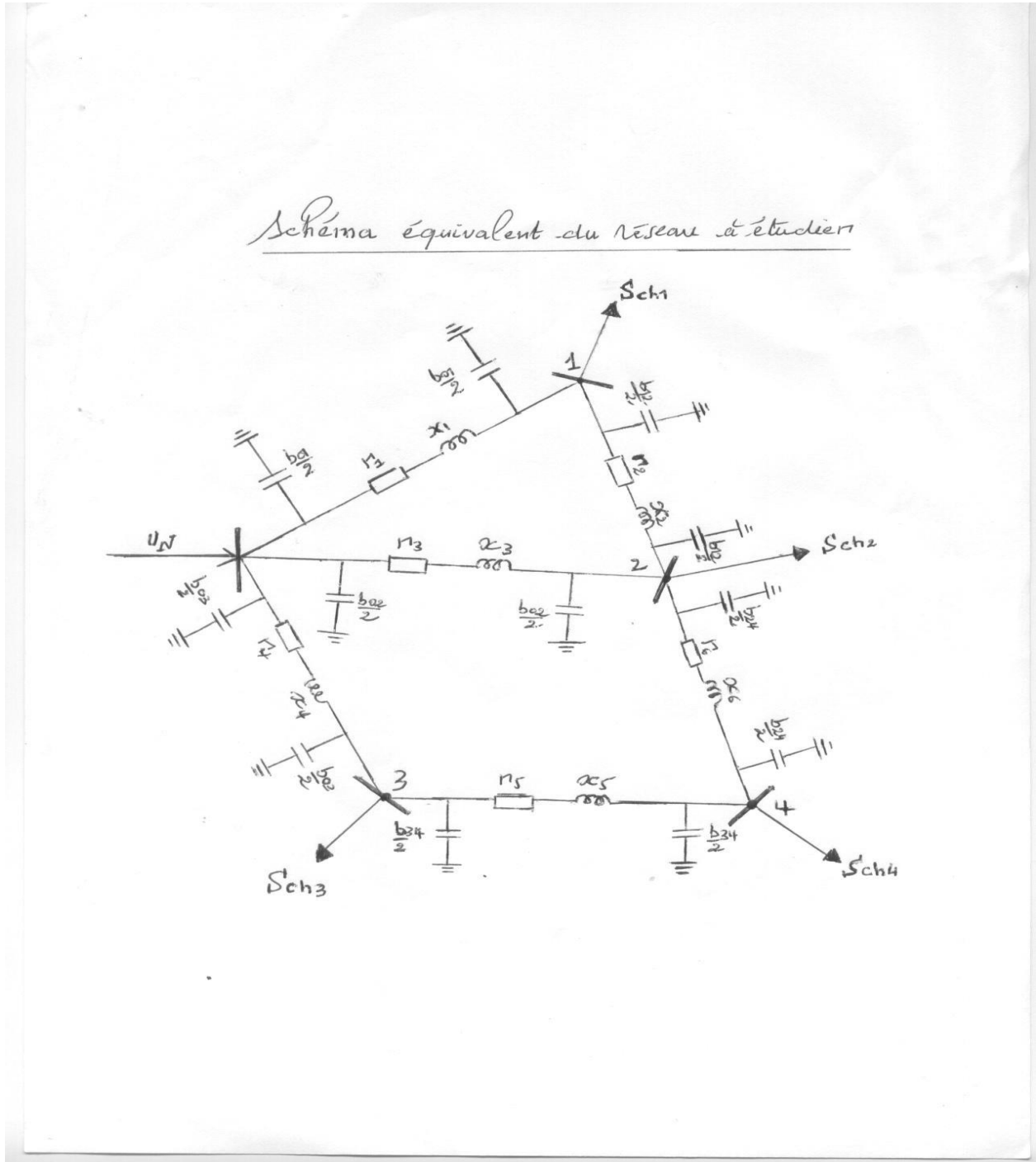
Ce calcul sert pour faciliter la tâche pour l'étude réelle.

Chapitre III

Etude du régime réel

I. Introduction

Dans ce chapitre on tient compte la présence des parties transversales dans notre réseau , pour le calcul réel donc le schéma équivalent du réseau devient représenté comme suit



Cette étude consiste au calcul des tensions dans les différents nœuds ,et vérifier si l'exploitation se fait dans les normes c'est-à-dire si les écarts de tension ne dépassent pas les limites admissibles ($\pm 10\%$).

II. Etude du réseau réel

II.1. Calcul les puissances capacitives des lignes en [MVar]

$$Q_{t_{ij}} = \frac{1}{2} b_{0,ij} \cdot U_n^2 \quad (\text{III .1})$$

Avec $U_n = 220 \text{ KV}$

- $Q_{t_{01}} = \frac{2.71}{2} (220)^2 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 3,9204$
- $Q_{t_{12}} = \frac{2.84}{2} (220)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 2,0749$
- $Q_{t_{24}} = \frac{2.66}{2} (220)^2 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 2,2530$
- $Q_{t_{43}} = \frac{2.84}{2} (220)^2 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 3,4364$
- $Q_{t_{03}} = \frac{2.71}{2} (220)^2 \cdot 65 \cdot 10^{-6} = 4,26283$
- $Q_{t_{02}} = \frac{2.71}{2} (220)^2 \cdot 70 \cdot 10^{-6} = 4,59074$

II.2. Calcul les puissances des noeuds en [MVA]

$$S_i = S_{chi} - \sum j Q_{t_{ij}} \quad (\text{III .2})$$

- $S_1 = S_{ch1} - Q_{t_{12}} - Q_{t_{12}} = 120 + j93,63048$
- $S_2 = S_{ch2} - Q_{t_{12}} - Q_{t_{02}} - Q_{t_{24}} = 100 + j75,40812$
- $S_3 = S_{ch3} - Q_{t_{43}} - Q_{t_{03}} = 140 + j102,30077$
- $S_4 = S_{ch4} - Q_{t_{24}} - Q_{t_{43}} = 100 + j84,31058$.

II.3. Calcul les puissances qui transitent dans les lignes

D'après les équations des mailles et des nœuds on obtien :

$$Sl_1 = S_{ch1} + Sl_x \quad (\text{III .3})$$

$$Sl_2 = Sl_x \quad (\text{III .4})$$

$$Sl_3 = S_{ch2} + Sl_y - Sl_x \quad (\text{III .5})$$

$$Sl_4 = -Sl_y + S_{ch4} + S_{ch3} \quad (\text{III .6})$$

$$Sl_5 = Sl_y - S_{ch4} \quad (\text{III .7})$$

$$Sl_6 = Sl_y \quad (\text{III .8})$$

$$\checkmark (S_{ch1} + Sl_x) \hat{Z}_1 + Sl_x \cdot \hat{Z}_2 - (S_{ch2} + Sl_y - Sl_x) \cdot \hat{Z}_3 = 0$$

$$\checkmark (S_{ch2}+Sl_y-Sl_x).l_3+Sl_y.\hat{Z}_6+(Sl_y-S_{ch4}).\hat{Z}_5-(-Sl_y+S_{ch4}+S_{ch3}).\hat{Z}_4+(l_1+l_2+l_3).Sl_x- \\ l_3.Sl_y+(S_{ch1}.l_1-S_{ch2}.l_3)=0$$

L'application numérique donne les résultats suivantes exprimées en [MVA]

- $Sl_1 = 153,25+j113,39$
- $Sl_2 = 33,2476+j19,7564$
- $Sl_3 = 146,78+j115,55$
- $Sl_4 = 159,98+j126,72$
- $Sl_5 = -19,9804-j24,4173$
- $Sl_6 = 80,0196+j59,8932$

II.4.Détermination des chutes de tension en [KV]

$$\Delta U_i = \hat{S}L_i \cdot Z_i / U_n = \frac{P.R + Q.X}{U_n} + j \frac{P.X - Q.R}{U_n} \quad (III.3)$$

- $\Delta U_1 = 16,7695 + j14,8852$
- $\Delta U_2 = 2,9589 + j1,5381$
- $\Delta U_3 = 19,6600 + j16,4332$
- $\Delta U_4 = 20,0462 + j16,6645$
- $\Delta U_5 = -2,8394 - j0,8780$
- $\Delta U_6 = 5,6249 + j4,3307$

II.5.Détermination des tensions au niveau de chaque nœud

- $U_1 = U_n - \Delta U_1$
- $U_2 = U_n - \Delta U_3$
- $U_3 = U_n - \Delta U_4$
- $U_4 = U_2 + \Delta U_6$

❖ Calcul des tensions en [KV]

- $U_1 = 203.23-j14.885$
- $U_2 = 200.34-j16.43$
- $U_3 = 199.96-j16.665$
- $U_4 = 194.71-j20.7623$

❖ **Calcul les Modules en [KV]**

- $|U_1| = 203,7749$
- $|U_2| = 201,0123$
- $|U_3| = 200,6527$
- $|U_4| = 195,8189$

II.6.Détermination les ecarts des tensions en [%]

$$U_i^*(\%) = \frac{U_i - U_n}{U_n} \cdot 100 \quad (\text{III .4})$$

- $U_1^*(\%) = -7,3751$
- $U_2^*(\%) = -8,6349$
- $U_3^*(\%) = -8,7946$
- $U_4^*(\%) = -10,9923$

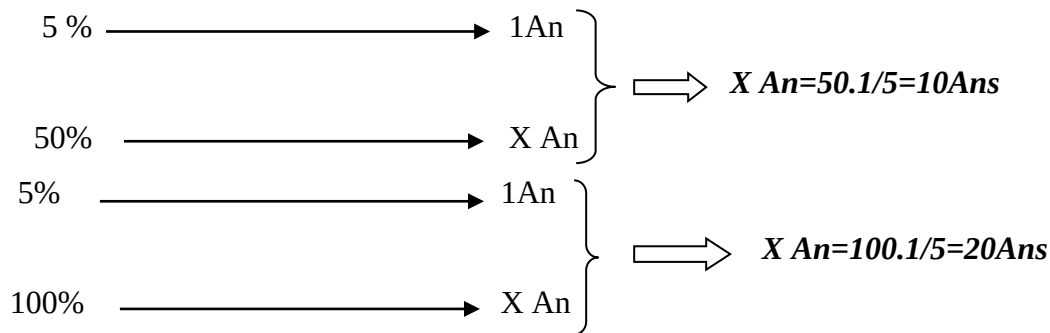
II.7. Discussion:

Après avoir étudié le régime normal, nous pouvons conclure que l'exploitation de ce réseau s'effectue normalement sauf au poste N° 04 où l'écart de tension dépasse la limite admissible (10%) pour le réseau de transport .

III. Etude du réseau futur :

L'étude du régime futur consiste à déterminer les tensions dans les différents nœuds et vérifier si l'exploitation se fait dans les normes c'est à dire si les écarts de tensions de chaque nœud sont inférieur à 10%, mais cette fois nous augmenterons toutes les charges de 50% ($S_{\text{futur}} = 1,5 S_{\text{actuel}}$) et de 100% ($S_{\text{futur}} = 2 S_{\text{actuel}}$).

Pour déterminer la durée dans la quelle les charges atteindrons les 50% et les 100%, nous considérons que les augmentations de charges où de puissances sont d'après les 50%et 100% par An.



III.1. Régime future après 10 ans

Les charges augmentent de 50 % ,donc:

$$S_i' = 1,5 S_i [MVA]$$

- $S'_1 = 180 + j140,4523$
- $S'_2 = 150 + j113,1241$
- $S'_3 = 210 + j153,4582$
- $S'_4 = 150 + j126,4754$

III.1.1. Calcul les puissances qui transitent dans les lignes en [MVA]

- $Sl'_1 = 213,2546 + j160.1235$
- $Sl'_2 = 33,2516 + j19.7564$
- $Sl'_3 = 196,7748 + j153.2569$
- $Sl'_4 = 279,9854 + j220,0345$
- $Sl'_5 = -96,9852 - j66,8596$
- $Sl'_6 = 80,0196 + j59,8932$

III.1.2. Calcul les chutes de tensions en [KV]

- $\Delta U'_1 = 23,6014 + j20,6458$
- $\Delta U'_2 = 2,9562 + j1,5462$
- $\Delta U'_3 = 26,1365 + j22,0715$
- $\Delta U'_4 = 34,8652 + j29,2015$
- $\Delta U'_5 = -8,2956 - j3,7526$
- $\Delta U'_6 = 5,6325 + j4,3307$

III.1.3. Calcul les tensions en [KV]

- $U'_1 = 200.4526 - j20.6425$
- $U'_2 = 193.8754 - j22.0756$
- $U'_3 = 185.1452 - j29.2045$
- $U'_4 = 188.2456 - j17.7423$

III.1.4. Calcul les Modules en [KV]

- $|U'_1| = 201,5126$
- $|U'_2| = 195,1256$
- $|U'_3| = 187,4325$
- $|U'_4| = 189,0742$

III.1.5. Calcul les écarts relatifs en (%)

- $U_1'^* = -8,4033$
- $U_2'^* = -11,3025$
- $U_3'^* = -14,8041$
- $U_4'^* = -14,0595$

III.1.6. Discussion:

Après avoir étudié le régime future après dix ans ,nous pouvons conclure que l'exploitation de ce réseau ne s'effectue pas normalement sauf au poste N° 01 ou l'écart de tension reste dans la limite admissible (8,4033%).

III.2.Régime future après 20 ans

Les charges augmentent de 100% :donc

$$S_i'' = 2 S_i [MVA]$$

- $S''_1 = 240 + j187,2623$
- $S''_2 = 200 + j150,8241$
- $S''_3 = 280 + j204,6082$
- $S''_4 = 200 + j168,6254$

III.2.1. Calcul les puissances qui transitent dans les lignes en [MVA]

- $Sl''_1 = 273,2546 + j207.0235$
- $Sl''_2 = 33,2516 + j19.7564$
- $Sl''_3 = 246,7748 + j190.9569$
- $Sl''_4 = 399,9854 + j313.3345$
- $Sl''_5 = -119,9852 - j108.7396$
- $Sl''_6 = 80,0196 + j59.8932$

III.2.2. Calcul les chutes de tension en [KV]

- $\Delta U''_1 = 30.4514 + j26.4258$
- $\Delta U''_2 = 2.9562 + j1.5462$
- $\Delta U''_3 = 32.6148 + j27.7215$
- $\Delta U''_4 = 49.6652 + j41.7315$
- $\Delta U''_5 = -13.8256 - j6.6526$
- $\Delta U''_6 = 5.6325 + j4.3307$

III.2.3. Calcul les tensions [KV]

- $U''_1 = 189.5526 - j26.4255$
- $U''_2 = 187.3954 - j27.7256$
- $U''_3 = 170.3452 - j41.7345$
- $U''_4 = 181.7656 - j23.3923$

III.2.4. Calcul les Modules [KV]

- $|U_1|'' = 191,3826$
- $|U_2|'' = 189,4356$
- $|U_3|'' = 180,3725$
- $|U_4|'' = 183,2542$

III.2.5. Calcul les écarts relatifs en (%)

- $U_1^{''*} = -13,0024$
- $U_2^{''*} = -13,8925$
- $U_3^{''*} = -18,0141$
- $U_4^{''*} = -16,7095$

III.2.6. Discussion:

Après avoir étudié le régime normal, nous pouvons conclure que l'exploitation de ce réseau s'effectue normalement, on remarque que l'écart de tension dépasse la limite admissible (10%) au niveau de tous les postes.

IV. Conclusion

Après l'étude de ce chapitre on peut conclure que :

Dans l'étude du régime actuel le réseau électrique doit être exploitable normalement, c'est-à-dire tous les chutes de tension ne dépassent pas 10% pour les réseaux de transport. Pour notre cas le réseau est exploitable sauf au un seul point qui correspond au poste N° 04 qui la plus loin au source mais avec un écart très légèrement supérieur par rapport au norme.

Dans le régime future on voit clairement que notre réseau électrique devient pas exploitable à cause de l'augmentation périodique des charges.

Chapitre IV

Compensation de l'énergie réactive

I. Introduction

Dans ce chapitre on fait une application de compensation de l'énergie réactive dans le réseau étudié au paravent, pour résoudre le problème de la chute de tension. Notre compensation sera une compensation locale c'est-à-dire aux niveaux des charges ou la tension descend au dessous de 10 %, et on choisi pour cette compensation l'utilisation des batteries de compensations puisque elle mois cher et très efficace.

Mais pour respecter les normes du réseau de transport, on utilise des batteries de condensateur de 5 et 10 MVar qui sont dessinés pour ces réseaux et aussi c'est les plus disponibles sur le marché, et on peut aussi utiliser les gradins des condensateurs « un gradin peut porter plusieurs batteries »

Donc notre optimisation sera coté coût, c'est-à-dire on utilise le minimum des batteries donc minimum des MVar « mois d'argent », et aussi coté lieux on sait que l'implantation dans un seul lieu est mieux que deux et ainsi de suite.

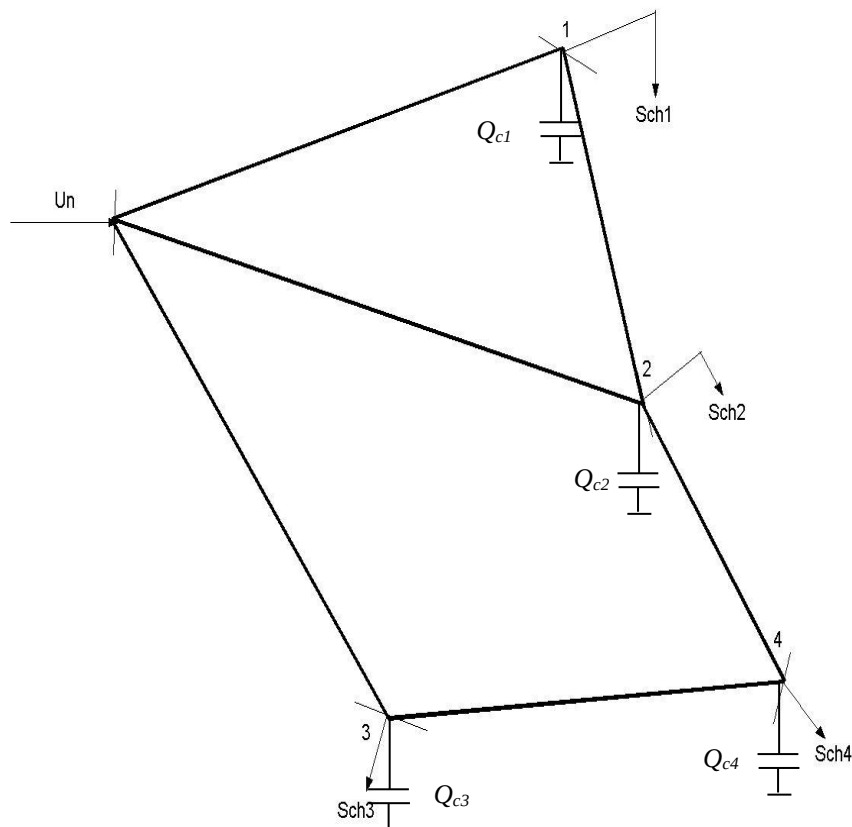


Figure V.1. Schéma unifilaire du réseau compensé

II. Résultats de compensation

II.1. Le régime actuel

Les résultats de différent cas se représentent dans les tableaux suivants

1-Dans le nœud 4 : $Q_{C4}=30$ MVar « Trois batteries de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	201.0014	-0.0819	-8.6357
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	197.9097	-0.1080	-10.0410

2-Dans le nœud 4 $Q_{C4}=40$ MVar « Quatre batteries de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	201.0014	-0.0819	-8.6357
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	198.6104	-0.1086	-9.7225

3-Dans le nœud 2 : $Q_{C2}=20$ « Deux batteries de 10 MVar ;

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	203.7245	-0.0836	-7.3980
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	198.5385	-0.1077	-9.7552

4-Dans les nœuds 2et4 : $Q_{C2} = 10 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar » et $Q_{C4} = 20 \text{ MVar}$ « deux batteries de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	202.3629	-0.0827	-8.0169
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	198.5744	-0.1081	-9.7389

5-Dans les nœuds 2et3 : $Q_{C2} = 20 \text{ MVar}$ « deux batteries de 10 MVar » et $Q_{C3} = 10 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	203.7245	-0.0836	-7.3980
U_3	201.9507	-0.0837	-8.2042
U_4	198.5385	-0.1077	-9.7552

6-Dans les nœuds 1et2 : $Q_{C1} = 10 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar » et $Q_{C2} = 20 \text{ MVar}$ « deux batteries de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	204.9414	-0.0739	-6.8448
U_2	203.7245	-0.0836	-7.3980
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	198.5385	-0.1077	-9.7552

7-Dans les nœud 1,2et 4 : $Q_{C1} = 10 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar » $Q_{C2} = 15 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar et batterie de 5 MVar » et $Q_{C4} = 10 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	203.7245	-0.0836	-7.3980
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	198.5385	-0.1077	-9.7552

8-Dans les nœuds 1,2et 4 : $Q_{C1} = 5 \text{ MVar}$ « batterie de 5 MVar ». $Q_{C2} = 15 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar et batterie de 5 MVar » et $Q_{C4} = 5 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	204.3586	-0.0735	-7.1097
U_2	203.0436	-0.0831	-7.7074
U_3	200.6864	-0.0829	-8.7789
U_4	198.2062	-0.1076	-9.9063

9-Dans les nœud 2,3et 4 : $Q_{C2} = 15 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar et batterie de 5 MVar » . $Q_{C3} = 5 \text{ MVar}$ « batteries de 5 MVar » et $Q_{C4} = 5 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	203.7758	-0.0731	-7.3746
U_2	203.0436	-0.0831	-7.7074
U_3	201.3185	-0.0833	-8.4916
U_4	198.2062	-0.1076	-9.9063

10-Dans les nœuds 1, 2,3et 4 : $Q_{C1} = Q_{C3} = Q_{C4} = 5 \text{ MVar}$ « Trois batteries de 5 MVar » et $Q_{C2} = 15 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar et batterie de 5 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	204.3586	-0.0735	-7.1097
U_2	203.0436	-0.0831	-7.7074
U_3	201.3185	-0.0833	-8.4916
U_4	198.2062	-0.1076	-9.9063

11-Dans les nœud 1, 2,3et 4 : $Q_{C1} = Q_{C3} = 5 \text{ MVar}$ « Deux batteries de 5 MVar » ; $Q_{C2} = 10 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar » et $Q_{C4} = 15 \text{ MVar}$ « batterie de 10 MVar et batterie de 5 MVar »

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	204.3586	-0.0735	-7.1097
U_2	202.3629	-0.0827	-8.0169
U_3	201.3185	-0.0833	-8.4916
U_4	198.2241	-0.1078	-9.8981

II.1.2. Discussion

D'après les résultats obtenue on constate que :

Le cas N° 02 c'est le cas optimum c'est-à-dire le cas qui besoin un minimum des batteries « seulement deux batteries de 10 MVar » et en seul lieux «au niveau du poste N°04 ». Avec ce nouveau plan notre réseau électrique est totalement exploitable.

II.2. Régime future « Après 10 an »

On travail avec la même procédure, donc on trouve

1-Dans les nœud 1, 2,3et 4 : $Q_{C1} = 5 \text{ MVar}$ et $Q_{C2} = 40 \text{ MVar}$.

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	198.0633	-0.1051	-9.9712
U_2	200.5683	-0.1160	-8.8326
U_3	198.3033	-0.1588	-9.8622
U_4	198.0103	-0.1430	-9.9953

2-Dans les nœuds 1, 2,3et 4 $Q_{C1} = 5 \text{ MVar}$. $Q_{C2} = 35 \text{ MVar}$ et $Q_{C3} = 85 \text{ MVar}$ et $Q_{C4} = 45$

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	198.0633	-0.1051	-9.9712
U_2	199.8851	-0.1157	-9.1431
U_3	198.3033	-0.1588	-9.8622
U_4	198.0299	-0.1432	-9.9864

3-Dans les nœuds 1, 2,3et 4 $Q_{C1} = 5 \text{ MVar}$ et $Q_{C2} = 50 \text{ MVar}$

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	198.0633	-0.1051	-9.9712
U_2	201.9349	-0.1166	-8.2114
U_3	197.6669	-0.1587	-10.1514
U_4	198.3232	-0.1427	-9.8531

4-Dans les nœuds 1,3et 4 $Q_{C1} = 5 \text{ MVar}$. $Q_{C3} = 85 \text{ MVar}$ et $Q_{C4} = 60$

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	198.0633	-0.1051	-9.9712
U_2	195.1031	-0.1134	-11.3168
U_3	198.3033	-0.1588	-9.8622
U_4	194.2936	-0.1423	-11.6847

5-Dans les nœuds 1,2et 3 $Q_{C1} = 5 \text{ MVar}$. $Q_{C2} = 60$ et $Q_{C3} = 85 \text{ MVar}$

Les tensions	Module [KV]	Argument [°]	Ecart [%]
U_1	198.0633	-0.1051	-9.9712
U_2	203.3015	-0.1172	-7.5902
U_3	198.3033	-0.1588	-9.8622
U_4	198.2840	-0.1423	-9.8709

II.2.2. Discussion

D'après les résultats obtenue on constate que :

Les cas N° 04 et 05 représentent les cas optimum mais ils consomment **150 MVar** et dans des trois lieux, c'est un peu coûteux en toutes les façons.

III.Conclusion

Les batteries de condensateurs sont actuellement le moyen plus économique et le plus simple de production d'énergie réactive dans les installations industrielles aussi bien que dans le réseau public. C'est pour cette raison dans ce chapitre on applique cette méthode qui est efficace surtout en régime actuel, et un peu pour un régime futur proche.

Chapitre V



Optimisation de la compensation

I. Généralités.

Toutes les machines électriques (moteur ,transformateur...) alimentées en courant alternatif mettent en jeu deux formes d'énergie :

- L'énergie active correspond à la puissance active "P" mesurée en KW : Elle se transforme intégralement en énergie , mécanique (travail) et en chaleur (perte).
- L'énergie réactive correspond à la puissance réactive "Q" mesurée en KVar : elle sert à l'aimantation des circuits magnétiques des machines électriques et elle est nécessaire à leur fonctionnement. Elle est mise à leur disposition par le réseau ou , de préférence, par des condensateurs prévus à cet effet. Le réseau de distribution fournit l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente "S" mesurée en KVA. L'énergie apparente est composée vectoriellement des 2 types d'énergie active et réactive .

▪ Point de vue du distributeur d'énergie :

La circulation des puissances active provoque des pertes actives et des chutes de tension dans les conducteurs .Les pertes actives réduisent le rendement global des réseaux et les chutes de tension sont néfastes au maintien d'une bonne tension que doit le distributeur à ses clients. Ainsi est-il donc préférable sur le plan technique de les produire le plus près possible des lieux de consommation .Pour la puissance active ,on montre qu'il est plus économique de la produire d'une manière centralisée et de la distribuer ensuite aux clients .Le coût du transport est bien moins élevé que le surcoût d'une production réalisée localement .

En revanche , pour la puissance réactive ,il est économiquement plus intéressant de la produire, en tout ou partie ,localement par des générateurs d'énergie réactive autonomes comme les condensateurs par exemple (compensation).

▪ Point de vue du client :

Comme pour le distributeur, le transport de la puissance réactive sur le réseau intérieur du client entraîne les inconvénients suivants :

- Surcharge ou surdimensionnements des installations (transfo,câble,etc...)
- Pertes actives plus importantes dans ces ouvrages.

II. Facteur de puissance

Le facteur de puissance de l'installation est le quotient de la puissance active en kW consommée par l'installation sur la puissance apparente en kVA fournie à l'installation.

Il est égal au cosinus de l'angle de déphasage " φ " entre la puissance active et la puissance apparente.

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$ = facteur de puissance. Le $\cos \varphi$ est compris entre 0 et 1.

Un facteur de puissance proche de 1 optimise le fonctionnement d'une installation.

Il est possible d'exprimer la $\tan \varphi$ avec

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

La valeur la plus faible de $\tan \varphi$ optimise l'installation.

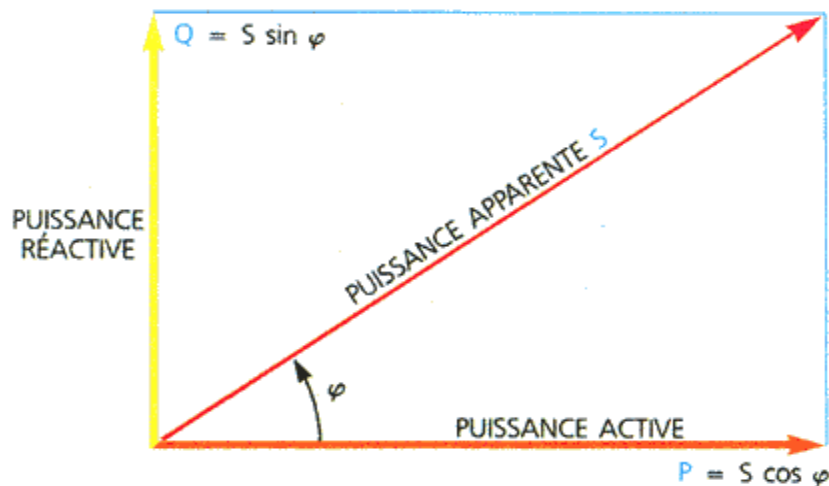


Figure IV.1. Représentation des puissances par FRESNEL

Une trop grande consommation d'énergie réactive pour une installation électrique va augmenter considérablement ses courants en ligne bien que sa puissance active n'est pas changée.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} \quad (\text{I.13})$$

Si Q augmente on a l'augmentation de I .

L'amélioration du facteur de puissance tend idéalement à lui donner une valeur proche de 1. En pratique, on se contente d'une valeur proche de 0,9 (inductif).

III. Compensation de l'énergie réactive

Les réseaux électriques à pour but de véhiculer de la puissance depuis sa source jusqu'aux centres de consommations dans un réseau à courant alternatif. La puissance apparente " S " à deux composantes : la puissance P et la puissance Q liées par le déphasage.

$$S = P + jQ = UI[\cos \varphi + j \sin \varphi]. \quad (\text{IV.1})$$

Le premier apparaît comme utile. L'autre comme une puissance parasite dont la circulation sur le réseau provoque des phénomènes indésirables.

On voit donc l'intérêt économique de réduire les transits de la puissance réactive pour réduire les pertes.

Mais comme les charges alimentées par le réseau absorbent en général de la puissance réactive, on cherchera à compenser cette puissance le plus près possible des consommateurs.

La chute de tension à travers le réseau est donnée par :

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \quad (\text{IV.2})$$

Par conséquent de transit de la puissance réactive est une composante de la chute de tension, composante qui est d'autant plus grande que le rapport " X/R " est plus grande. Ce qui est le cas des réseaux de transport à haute tension. Il apparaît clairement que la compensation de la puissance réactive et la tenue du plan de tension sont initialement liées et indissociables.

Pour limiter les courants en ligne et donc l'énergie réactive absorbée par l'installation, on doit donc installer des sources d'énergie réactive en parallèle sur notre installation. On appelle cette technique "*Compensation de l'énergie réactive*". Cette compensation permet d'améliorer le facteur de puissance ($\cos \varphi$).

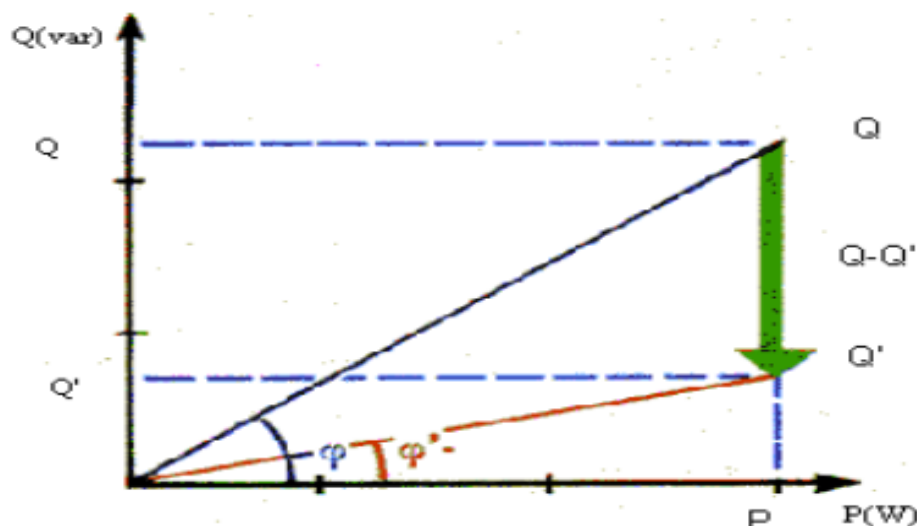


Figure IV.2. : Diagramme vectoriel représentant l'importance de la compensation.

Q : La puissance réactive appelée par la charge seule.

$Q-Q'$: La puissance réactive fournie par la source supplémentaire.

Q' : La puissance réactive transitée par la source principale.

P : La puissance active appelée par la charge.

$$Q = P.tg \varphi \quad \text{et} \quad Q' = P.tg \varphi' \quad (IV.3)$$

La puissance des condensateurs à installer sera égale à :

$$Q_b = Q - Q' \quad (IV.4)$$

$$Q_b = P (tg \varphi - tg \varphi') \quad (IV.5)$$

IV. Avantages du relèvement du facteur de puissance

Cette amélioration présente de nombreux avantages :

IV.1.Diminution de la section des câbles

La puissance active transportée par un câble diminue lorsque le facteur de puissance s'éloigne de 1. Pour une même puissance active à fournir la diminution du facteur de puissance impose le choix de câbles de plus grande section.

IV.2.Diminution des pertes en ligne

Un bon facteur de puissance permet une diminution des pertes en ligne à puissance active constante. Les pertes wattées (dus à la résistance des conducteurs) sont intégrées dans la consommation enregistrée par les compteurs d'énergie active (kWh) et sont proportionnelles au carré du courant transporté.

IV.3.Réduction de la chute de tension

L'amélioration du facteur de puissance diminue l'énergie réactive transportée et de ce fait diminue les chutes de tension en ligne.

IV.4.Augmentation de la puissance disponible

La puissance active disponible au secondaire d'un transformateur est d'autant plus grande que le facteur puissance de l'installation est élevé.

V. Principe de la compensation

Compenser une installation consiste à installer une source d'énergie réactive de compensation qui permet d'améliorer le facteur de puissance de l'installation.

V.1.Moyens de compensation

La compensation peut se faire en basse tension ou en haute tension en utilisant des condensateurs. En basse tension la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

- * Les condensateurs de valeurs fixes ou condensateurs fixes.
- * Les équipements à régulation automatique ou batteries automatiques qui permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation. Lorsque la puissance à installer est supérieure à 800 kvar avec une charge stable et continue il peut être plus économique de choisir des batteries de condensation haute tension à installer sur le réseau.

V.2. Principe et intérêt de la compensation automatique

L'installation en tête de l'ensemble de la distribution BT ou d'un secteur important, les batteries de condensateurs sont divisées en gradins. La valeur du $\cos \varphi$ est détectée par un relais var métrique qui commande automatiquement l'enclenchement et le déclenchement des gradins en fonction de la charge et du $\cos \varphi$ désiré. Le transformateur de courant doit être placé en amont des récepteurs et des batteries de condensateurs.

La compensation automatique permet l'adaptation immédiate de la compensation aux variations de la charge et évite, ainsi, le renvoi d'énergie réactive sur le réseau électrique et les surtensions dangereuses pour les circuits d'éclairage lors des marches à faible charge de l'installation.

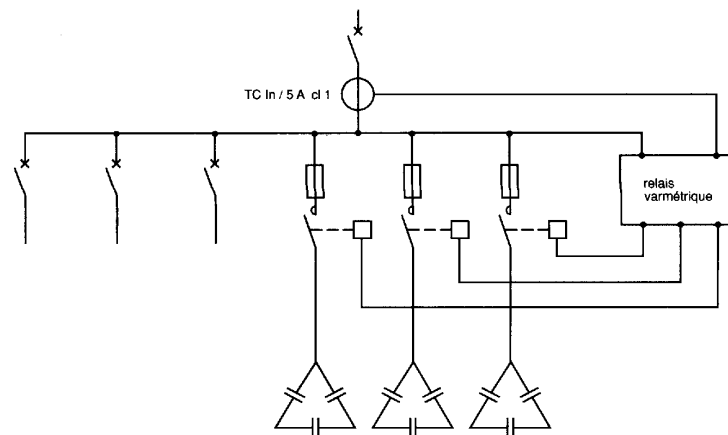
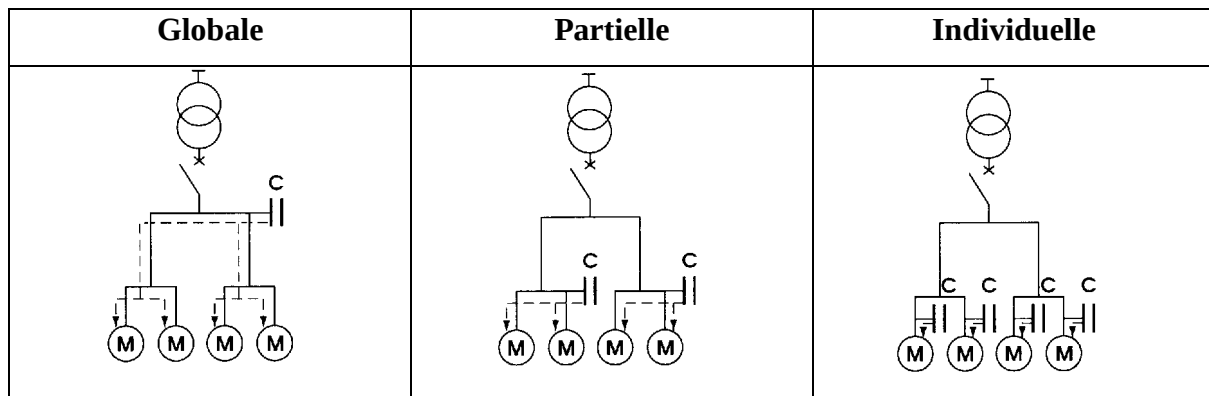


Figure IV.3. Différent types de compensation

V.3. Modes de compensation

La compensation peut être :



- **Globale** : La batterie de condensateur est raccordée en tête de l'installation et reste en service de façon permanente. Ce mode de compensation convient lorsque la charge est stable et continue.

- **Partielle** : La batterie de condensateur est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier ou par groupe de récepteur. Ce mode de compensation convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.

- **Individuelle** : La batterie de condensateur est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur du type inductif, notamment les moteurs. Elle convient lorsque la puissance de certains récepteurs est très importante par rapport à la puissance totale, elle offre le plus d'avantages.

V.3.1.Compensation globale

Intérêts :

- Ajuste le besoin réel de l'installation kW à la souscription de la puissance apparente (S en kVA)
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

Remarque :

- Le courant réactif (I_r) est présent dans l'installation du niveau 1 jusqu'aux récepteurs.
- Les pertes par effet joule dans les câbles ne sont pas diminuées (kWh).

□ Le facteur de puissance est variable suivant le nombre de machines en service.

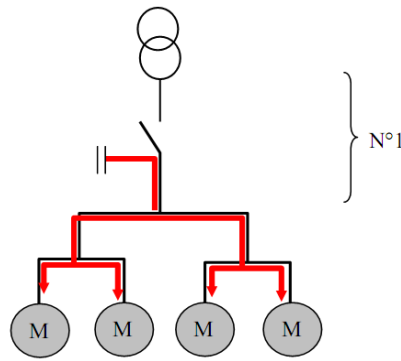


Figure.IV.4. Compensation globale

V.3.2.Compensation partielle

Intérêts :

- Optimise une partie du réseau, le courant réactif (I_r) n'est pas véhiculé entre les niveaux 1 et 2.
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

Remarque :

- Le courant réactif (I_r) est présent dans l'installation du niveau 2 jusqu'aux récepteurs.
- Les pertes par effet joule dans les câbles ne sont pas diminuées (kWh).

Le facteur de puissance est variable suivant le nombre de machines en service.

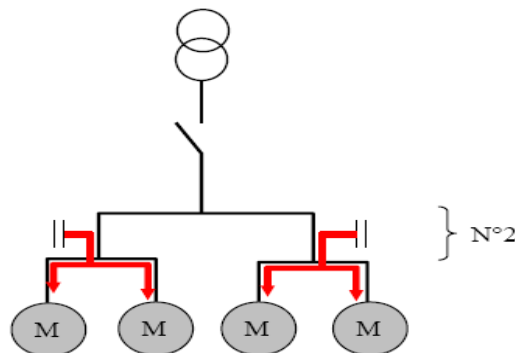


Figure IV.5. Compensation partielle

V.3.3.Compensation locale

Intérêts :

- Optimise tout le réseau électrique, le courant réactif (I_r) est fourni à l'endroit de sa consommation.
- Soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).
- Le facteur de puissance n'est plus variable suivant le nombre de machines en service

Remarque :

- Le courant réactif (I_r) n'est plus présent dans les câbles de l'installation.
- Les pertes par effet joule dans les câbles sont totalement supprimées (kWh).
- Le nombre de batteries de condensateurs est dans ce cas plus important, il en résulte un investissement généralement plus élevé.

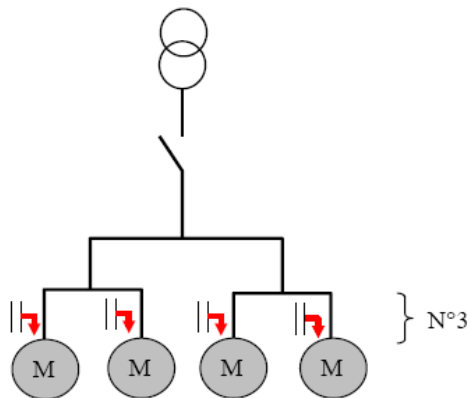


Figure IV.6.Compensation locale

V.4.Avantages et inconvénients des trois types de compensateurs

Et il y a autre types de compensation cité dans le tableau suivant :

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Batterie de Condensateurs	Elle permet de fournir l'énergie réactive nécessaire au fonctionnement des circuits inductifs. Les coûts sont relativement modestes comparativement aux deux autres types. Pas d'entretien exceptionnel	-Impossibilité de fixer le signe de la puissance réactive.

Machine synchrone	La machine synchrone surexcitée (dans les hautes pointes de consommation) fonctionne comme un circuit capacitif. Et lorsqu'elle est sous excitée (aux heures creuses), elle fonctionne comme un circuit inductif. Cette double possibilité est un avantage sur le condensateur qui ne permet que la compensation d'un effet inductif.	- Coûts relativement élevés comparativement aux batteries de condensateurs; - Ce genre d'installation exige un personnel d'entretien et n'a pas une dynamique élevée.
Le compensateur statique	Il est composé d'un condensateur de réactance capacitive X_C, d'une bobine d'induction avec sa réactance X_L et d'un variateur de courant alternatif (thyristors) permettant la variation du courant I_L. L'on peut fixer le signe de la puissance réactive Q ; Bonne dynamique ; Pas d'entretien exceptionnel.	-Contrôle des thyristors; -Nécessité de filtrage des harmoniques générés; -Coûts relativement élevés comparativement aux batteries de condensateurs.

V. Conclusion

Dans ce chapitre on s'aperçoit l'importance de la compensation de l'énergie réactive pour fonctionnement optimale de l'ensemble du réseau électrique considère comme un système énergétique. Etant donné que le réseau à différentes fonctions et à différents régimes de fonctionnement, selon l'utilisation ce qui aura comme effets différents type de compensation. Lors de la réalisation de l'opération de la compensation, on doit prendre en considération quelques critères importants tels que le facteur de puissance, la régulation de la tension, et la stabilité du réseau.

Conclusion générale

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des réseaux électriques et en particulier la compensation de l'énergie réactive.

On peut faire sortir un ensemble de réalisations telle que :

- Comment choisir les sections des conducteurs
- Calcul des paramètres du réseau électrique.
- Etude complète d'un réseau électrique réel.
 - Calcul des puissances transitées dans les lignes
 - Calcul des puissances capacitives des lignes
 - Calcul des puissances des nœuds
 - Détermination des chutes de tension
 - Détermination des tensions au niveau de chaque nœud
 - Détermination des écarts des tensions
- Etude de la probabilité dans la future.
- Etude du plan de tension dans le régime actuel et future.
- Comment améliorer le plan de tension.
- Compensation de l'énergie réactive.
- Optimisation du choix de compensation.

Enfin, notre travail s'inscrit dans le cadre global de l'amélioration de la qualité d'énergie électrique, il a particulièrement pour objet d'étude les problèmes de chute de tension et comment résoudre ce problème avec l'utilisation des bons du réactif « condensateurs ». En plus, ce travail montre aussi la quantité exacte et le lieu optimal d'implantation des condensateurs pour que notre réseau soit exploitable donc minimums de coût.

bibliographier

- 1-Mémoire de fin d'étude réaliser par Y BORDJI et A KRAA « contribution à l'étude de la compensation statique rapide » promotion1999-Biskra.
- 2- JAN VERSEILLE « circulation d'énergie réactive ».
- 3-P SARRAND ,J VERSEILLE « compensation de l'énergie réactive et tenue de la tension dans les réseaux publiques ».
- 4- THEODORE WILDI « électrotechnique ».
- 5- FOUNIE, J CPELLE « condensateurs de puissance ».
- 6-C. HANTOUCHE « condensateurs de puissance ».
- 7-R.FOUNIE, J CPELLE « condensateurs de puissance ».
- 8-D. ROCK« Manœuvre et protection des batteries de condensateurs MT ».
- 9- P GREGORY« réactance de compensation ».
- 10- S MARAM « UPFC and SVC modeling and control ».
- 11- M GEIDL «Implementation of FACTS in an Interactive Power Flow Simulation Platform».