

# République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire D'El-Oued



## DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme  
d'ingénieur d'état

En : Electrotechnique

Option:  
Réseaux Electriques

Thème :

*Différentes méthodes de compensation de  
l'énergie réactive dans les réseaux électriques*

**Présenté par :**

MEKKAOUI ADEL  
GHRISSI TEDJANI  
SOLTANI HAMZA

**Encadreur :**

Mr. DJILANI BEN ATTOUS

*Promotion : Juillet 2007*

## *Remerciement et reconnaissance*

*Nous remercions 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 \* Benatous Djilani \* pour les précieux conseils et son soutien*

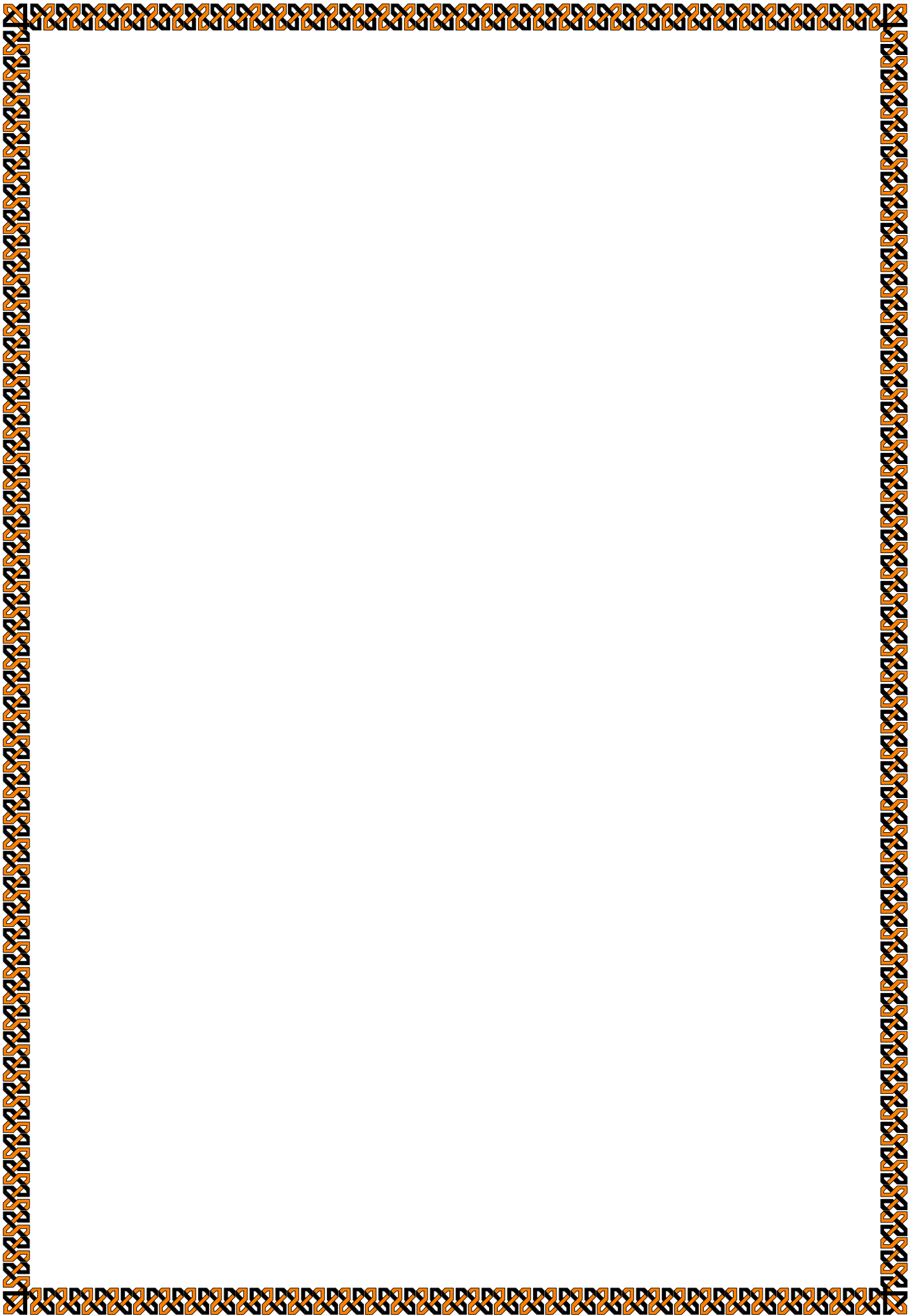
*Nous exprimons nos remerciements les plus sincères à monsieur*

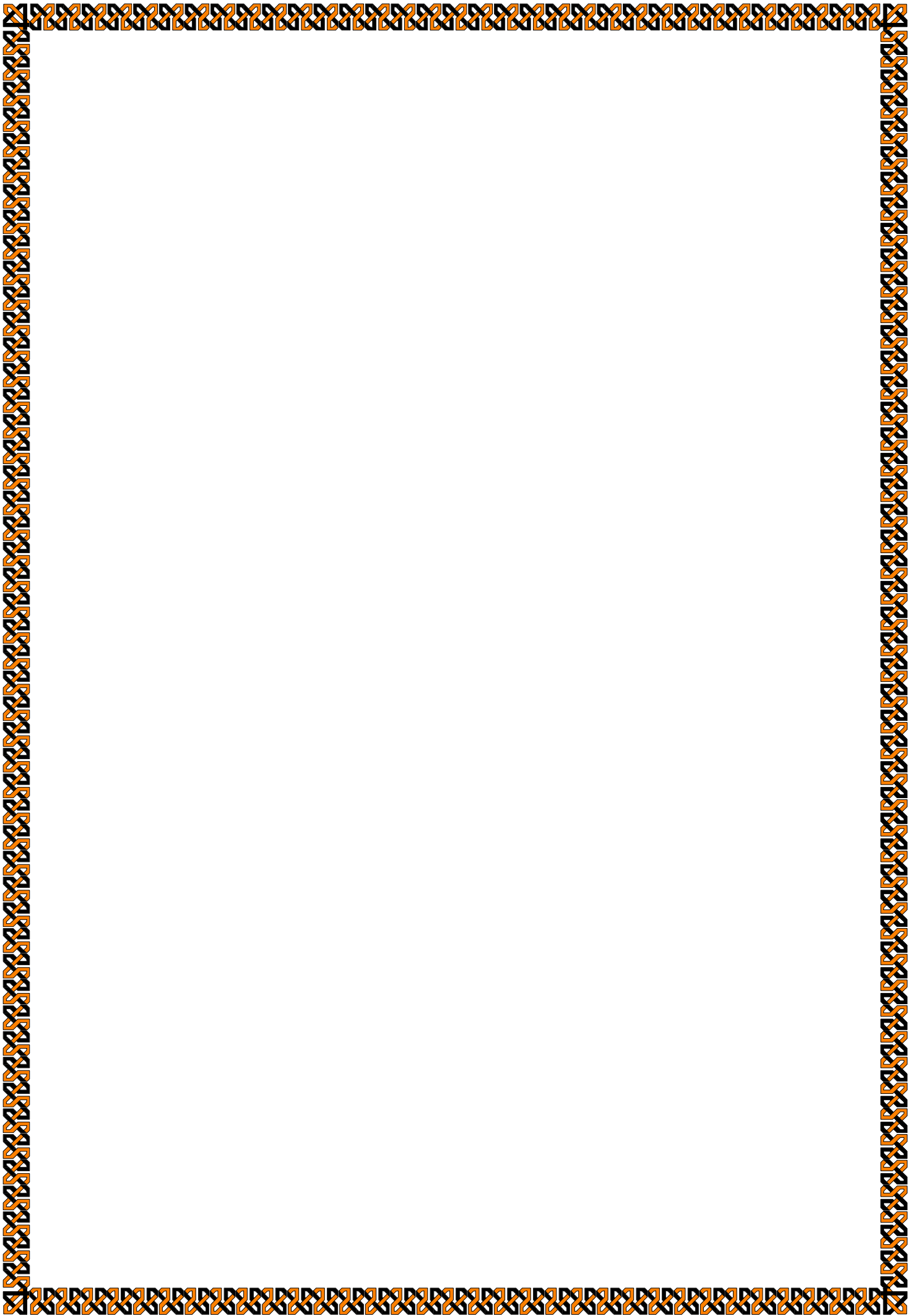
*\* Chemssa Ali\*, pour son aide et ses suggestions judicieuses*

*Nous n'oublions pas monsieur \*Rouiha Ridha\* pour son encouragement et son inestimable contribution dans la réalisation de ce travail .*

*En fin nous remercions nos collègues d'étude à toute Promotion 2006/ 2007*

*Adel, Tedjani et Hamza*





# Sommaire

## *Introduction générale*

## **Chapitre I**

### *Généralité sur les réseaux et notions fondamentales*

I.1. Définition.....	04
I.2. Structure topologique des réseaux .....	04
I.2.1.Réseaux radiaux .....	04
I.2.2.Réseaux bouclés .....	04
I.2.3. Réseaux maillés .....	05
I.3. Les différentes fonctions du réseau.....	06
I.3.1. Réseau d'utilisation.....	06
I.3.2. Réseaux de distribution.....	06
I.3.3. Réseaux de répartition .....	06
I.3.4. Réseaux de transport et d'interconnexions.....	07
I.4. Classification des réseaux .....	07
I.5. Les classes de tension .....	07
I-6. Structure d'un réseau MT .....	07
I-7. Evolution des réseaux .....	08
I-7-1. Développement économique .....	08
I-7-1. Développement économique.....	08
I-8. But de l'étude d'un réseau électrique .....	08
I-9. Avantages de l'utilisation du courant alternatif triphasé.....	09
II. Qualité de service.....	09
II-1. Qualité de tension.....	09
II-2. Qualité de la fréquence.....	10
II-3. Qualité de l'onde .....	10
II-4. Qualité de service .....	10
III. Notions sur la puissance électrique .....	11
III.1.La puissance instantanée .....	11
III. 2. La puissance apparente.....	11
III. 3 La puissance active .....	11

III. 4 La puissance réactive.....	12
III.5. Les sources et les effets de l'énergie réactive.....	12
III.5.1 Les sources.....	12
III.5.2 Effets du transit de l'énergie réactive .....	12
III.5.3. Pertes actives .....	13
III.5.4. La chute de tension.....	13
III.6. Le facteur de puissance .....	13
III.6.2. Avantages du relèvement du facteur de puissance.....	14
III.6.1. Définition.....	14
III.6.2. Avantages du relèvement du facteur de puissance .....	15

## **Chapitre II**

### ***Compensation l'énergie réactive***

II-1.Introduction.....	16
II.2. Définition.....	16
II.3.Compensation de l'énergie réactive .....	17
II.4.Le besoin de la compensation de la puissance réactive.....	19
II.4.1.facteur de correction.....	20
II.4.2. Amélioration de la régulation de la tension.....	20
II.4.3. Stabilité du système de puissance.....	21
II.5.Compensation de l'énergie réactive et tenue de tension.....	21
II.5.1.Principe.....	21
II.5.2.Origine et valeurs limites de tension admissible.....	21
II.6.Reglage de la tension.....	22
II.6.1.reglage de la tension sur les réseaux HT.....	22
II.6.2.reglage de la tension sur les réseaux THT.....	22
II.6.3.reglage de la tension sur les réseaux MT.....	23
II.6.3.1.Plantification.....	23
II.6.3.2.Exploitation.....	23
II.7.Conclusion .....	24

## **Chapitre III**

### ***Energie réactive mode et moyens de compensation***

III .1. Introduction .....	25
----------------------------	----

III .2. Déférente type de compensation.....	25
III .2.1. Compensation shunt.....	25
III .2.2. Compensation série.....	26
III.3. Les moyens de compensation.....	26
III.3.1. Les moteurs synchrones.....	26
II.3.2. Les batteries de condensateurs.....	29
III.3.2.1- La puissance réactive d'une batterie de condensateurs.....	29
III.3.3-Types de batteries.....	30
III.3.3.1- Batterie shunt.....	30
III.3.2.2- Batteries en série.....	31
III.4- Les avantages des batteries.....	32
III.5-Les inconvenants des batteries.....	32
III .6-Mode de compensation .....	33
III .6.1- Compensation individuelle.....	33
III.6.2- Compensation par secteur.....	34
III .6.3-Compensation globale.....	35
III .7-Conclusion .....	36

## **Chapitre IV**

### ***L'écoulement de puissance***

IV.1-Introduction .....	38
IV.2-Exemple de démonstration pour deux jeux de barres.....	38
IV.3-Les équations de l'écoulement de puissance.....	39
IV.4-Equations de l'écoulement de puissances dans les lignes.....	40
IV.5-Equations de l'écoulement de puissance (sous forme réelle).....	41
IV.6-Quelques observations sur les équations de l'écoulement de puissance.....	41
IV.7-Classification des variables de l'écoulement de puissance.....	42
IV.7.1-Les variables de perturbation ou non contrôlables.....	42
IV.7.2-Les variables de contrôle et d'état.....	43
IV.8-Classification des jeux de barres selon leurs spécifications.....	43
IV.9-Généralisation à un système de $n$ jeux de barres.....	43
IV.10-Forme générale des équations de l'écoulement de puissance.....	44
IV.11-La technique itérative de Newton Raphson.....	45
IV.11.1-Représentation géométrique de la méthode de N-R.....	45

IV.11.2-Algorithmes de N-R dans un système de dimension $n$ .....	46
IV.11.3-Arrêt des opérations.....	47
IV.11.4-Algorithmes de N-R appliquée aux équations de l'écoulement de puissance.....	47
IV.11.4.1-Les coordonnées rectangulaires.....	48
IV.11.4.2-Les coordonnées polaires.....	51
IV.12.organigramme .....	52
IV.13-Conclusion.....	53

## **Chapitre V**

### *Applications et interprétation des résultats*

V.1. Compensateur statique.....	54
V.2. Test le programme.....	56
V.2.1.Sans compensation.....	56
V.2.2. Avec compensation.....	62
V.2.3. interprétation des résultats.....	70
V.3. Compensateur synchrone.....	70
V.4. Les cas de compensation en utilise moteur synchrone.....	72
V.4.1.en cas inductif.....	72
V.4.2. en cas capacitif.....	73
V.4.3. Interprétation .....	74
<b><i>Conclusion générale</i></b> .....	75

## **- Introduction générale -**

L'énergie électrique joue un rôle très important dans la société moderne d'aujourd'hui. C'est une énergie largement utilisée pour l'éclairage, les systèmes informatiques, les systèmes de communication, les systèmes de transport, l'industrie et pour d'autres domaines. Elle rend notre vie plus sûre, plus saine, et plus commode. Elle est produite en même temps qu'elle est consommée; donc, en permanence, la production doit s'adapter à la consommation. Le transport de l'énergie électrique est assuré par le réseau électrique interconnecté qui peut être considéré comme l'un des systèmes les plus complexes jamais construits par les êtres humains. Ce réseau doit assumer la continuité de service et l'économie. La première exigence est améliorée via un nombre augmenté de sources d'énergie électrique disponibles en parallèle. La deuxième est augmentée par les lignes de transport supplémentaires permettant à une charge d'acquérir la puissance la moins chère dans le système électrique interconnecté.

Les caractéristiques du réseau électrique s'expriment en termes de grandeurs électriques, données temporelles et disposition spatiale. Les grandeurs électriques qui sont la fréquence et la tension sont influencées par l'intensité du courant qui circule dans les lignes et les câbles; celle-ci est liée aux puissances active et réactive générées, transportées et consommées. La puissance active est produite par les alternateurs à partir d'une énergie thermique ou mécanique, et consommée également sous forme thermique ou mécanique par les récepteurs ; tandis que la puissance réactive, elle est produite ou consommée dans tous les éléments du réseau. Les variations de l'équilibre entre l'offre et la demande énergétiques entraînent des perturbations des grandeurs électriques que l'on doit maintenir dans des fourchettes acceptables. La disposition spatiale ou la structure topologique du réseau électrique est à l'échelle des continents, des pays ou des régions, des sites industriels et des bâtiments du tertiaire. Dans les deux premiers cas il y a trois niveaux dans l'acheminement de l'énergie électrique: le transport, la répartition et la distribution.

Il y a beaucoup de facteurs attribués au succès du fonctionnement de ce système de puissance. Un de ces facteurs les plus importants est le prix de l'électricité. Ce dernier est influencé par trois facteurs: les coûts de production, les coûts de transport et les coûts de la distribution. Les coûts de production représentent le coût pour produire l'électricité à la source. Les coûts de transport représentent le coût pour transporter l'électricité par lignes à haute-tension du lieu de production jusqu'aux distributeurs. Les coûts de distribution sont les coûts pour acheminer de l'électricité de faible tension jusqu'aux utilisateurs résidentiels, commerciaux et industriels.

---

La production et la distribution de l'énergie électrique doivent être accomplies à coût minimal et avec efficacité maximale. Il faut, donc, planifier les puissances active et réactive de chaque centrale électrique de telle sorte à minimiser le coût total du fonctionnement du réseau entier. D'une autre façon, il faut varier les puissances active et réactive des générateurs dans certaines limites afin de satisfaire la demande particulière de la charge avec un coût minimal du combustible. Cela est appelé l'écoulement de puissance optimal (OPF) et parfois connu comme le problème de dispatching économique de l'écoulement de puissance.

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.

- Leur structure typologique et ses différents fonctionnements.

- Notions sur les puissances.

Par la suite dans le deuxième chapitre on a fait un aperçu sur la compensation de l'énergie réactive et le besoin de la compensation.

Dans la troisième chapitre nous avons étudié le type de compensation et les dispositif utilisé pour le compensation.

N'autre quatrième chapitre d'étude fait l'objet du traitement de méthode de calcule de l'écoulement de puissance (Newton raphson) pour nous faire facilité la tache de l'analyse des réseaux électriques d'une façon générale.

Dans Le cinquième chapitre on a exposé en détails les résultats d'application selon le programme développé sous l'environnement MATLAB.

---

*Chapitre 01*

Généralité sur le réseau  
électrique  
Et notions fondamentales

## I.1 Définition :

L'électricité est la forme d'énergie la plus facile à utiliser, mais exige des techniques et des investissements très importants pour la faire aboutir jusqu'à l'utilisateur. Cela exige l'installation de divers réseaux qui doivent assurer la canalisation de cette énergie depuis la centrale jusqu'au plus simple utilisateur.

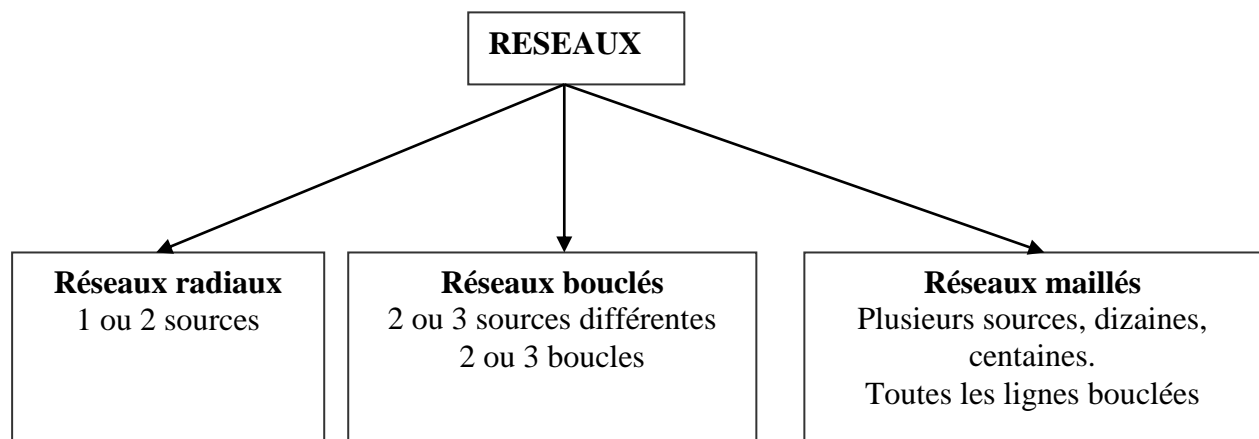
Les postes constituent les nœuds du réseau; les lignes en forment les branches ; ces branches constituent soit des artères est des antennes (ou dérivation) ; soit des mailles (ou boucles).

## I.2. Structure topologique des réseaux : [1]

Les réseaux doivent assurer le transit de l'énergie électrique avec une sécurité suffisante, cette sécurité d'alimentation est augmentée soit :

- Par les lignes aux appareillages plus solides.
- Par des circuits plus nombreux.

Alors il y'a donc un compromis à réaliser entre le coût des investissements supplémentaires et la valeur de ce qu'ils permettent de sauver ce qui conduit à des topologies de réseaux différents.



### I.2.1. Réseaux radiaux :

Un réseau radial issu d'un poste d'alimentation est constitué de plusieurs artères dont chacune va en se ramifiant, cette structure nous permet d'avoir des points communs, de sorte que le réseau soit bouclable mais non bouclé. Car en un point est placé toujours un appareil de coupure, ouvert en régime normal. Cette disposition permet en cas d'incidents sur une artère de reprendre l'alimentation.

Les réseaux radiaux sont des structures simples et peuvent être contrôlés et protégés par un appareillage simple. Ce sont les réseaux les moins onéreux.

1-post HT/MT

2-post MT/BT

3-ligne MT

4-ligne BT

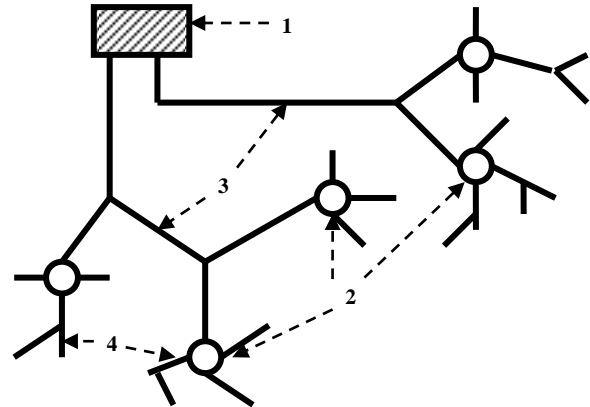


Schéma de principe d'un réseau radial

### I.2.2. Réseaux bouclés :

Les réseaux bouclés sont alimentés à la fois par plusieurs sources ; les postes sont raccordés en coupure d'artère cette disposition permet lors d'une coupure, une continuité de service.

L'existence de plusieurs sources en parallèle augmente la sécurité d'alimentation en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateurs) ou en cas d'avarie sur une boucle.

Dans ce dernier cas, le tronçon avarié est isolé en deux fractions du réseau. On voit que ce réseau est un peu plus compliqué que le précédent, de plus le contrôle et la protection du réseau nécessitent des dispositifs plus complexes.

Cette structure coûte chère car elle nécessite au moins deux cellules de départ en plus.

1-poste HT/MT

2-post MT/BT

3-ligne MT

4-ligne BT

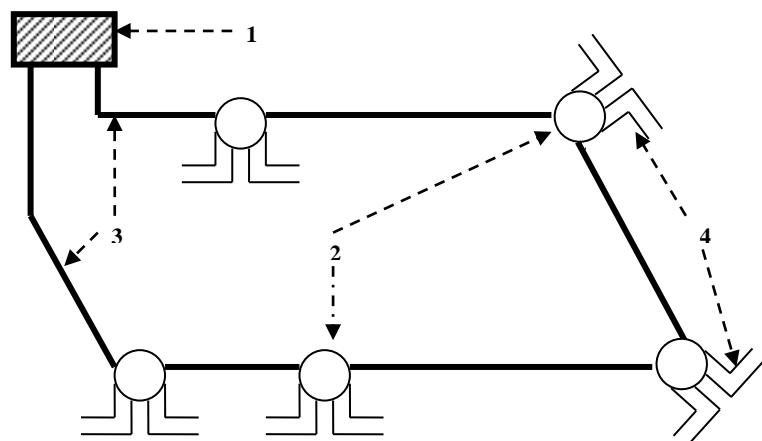


Schéma de principe d'un réseau bouclé

### I.2.3. Réseaux maillés :

Ce 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 tronçons 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.

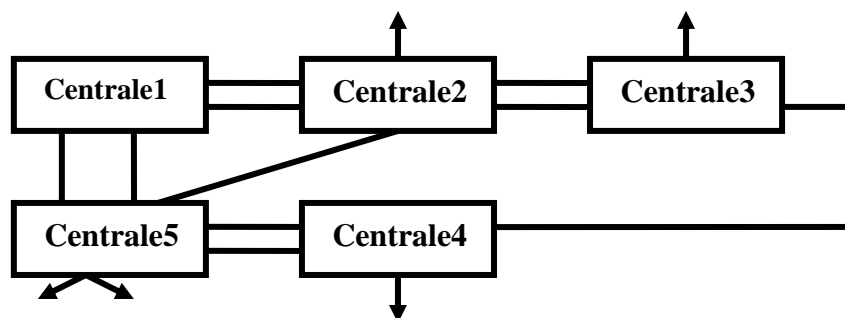


Schéma d'un réseau maillé

## I.3. Les différentes fonctions du réseau :

### I.3.1. Réseau d'utilisation :

Ces sont les réseaux de basse tension (BT) qui alimentent les foyers, l'éclairage, les moteurs, les appareils domestiques et doivent présenter une sécurité totale.

### I.3.2. Réseaux de distribution :

Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes.

### I.3.3. Réseaux de répartition :

Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions.

### **I.3.4. Réseaux de transport et d'interconnexions :**

Ils assurent l'alimentation de l'ensemble du territoire national grâce à des transits de puissances importantes.

### **I.4. Classification des réseaux :**

Les critères permettant de différencier ou regrouper les réseaux en catégories sont au nombre de quatre dont l'intérêt est évident :

- La tension qui limite les puissances transportées et fixe dimensions des lignes et des matériaux des postes.
- La fonction que le réseau doit remplir.
- La 3ème définition, la topologie du réseau. elle fixe son mode d'exploitation normale et les possibilités de secours en cas d'incidents.

La 4ème indique le système utilisé pour les courants alternatifs et les nombres de phase et la position du neutre par rapport à la terre.

### **I.5. Les classes de tension : [1]**

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.

### **I.6. Structure d'un réseau MT :**

Il est important de connaître les particularités chaque type de réseau moyenne tension car cela a une influence sur la conception et l'exploitation des postes de transformation MT /BT, sur tout en ce qui concerne :

- Les dispositifs de protection.
- Les prises de terre.
- Le régime du neutre.
- Le choix de l'appareillage.

Il y a deux types de réseaux moyens tension :

- Réseau moyenne tension aérienne (zone rurale).
- Réseau moyenne tension souterraine (zone urbaine).

Ces réseaux peuvent alimenter différents types de postes de transformation

- Postes d'extérieur (sur poteau, en maçonnerie).
- Postes d'intérieur (ouvert, en cellule préfabriquée).

## **I.7. Evolution des réseaux :**

### **I.7.1. 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.

### **I.7.2. 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 30KV est du à l'impact l'industrialisation et de l'électrification des zones rurales.

## **I.8. 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.

## **I.9. Avantages de l'utilisation du courant alternatif triphasé:**

Avant on utilisait le courant continu pour le transport et la distribution de l'énergie électrique mais actuellement c'est le courant alternatif qui assure ses fonctions, par ce qu'il permet à travers les transformateurs d'adapter la tension à la puissance à transporter ou à distribuer donc assurant une liaison facile entre ces deux réseaux, ainsi que la transformation, pas trop compliquée, d'un champ sinusoïdal en un champ tournant, notamment si le courant alternatif est triphasé ce qui permet de réaliser des générateurs de puissances alternatives plus simples que les générateurs à courant continu.

## **II. Qualité de service : [2]**

Que signifie desservir la clientèle ?

Bien évidemment, en premier lieu, les clients attendent :

La permanence de la mise à disposition de l'électricité délivrée : tension, fréquence, qualité de l'onde, qualité de service.

### **II.1. Qualité de tension :**

Pour le fonctionnement normal des appareils, il est très important d'avoir la tension à leurs bornes dans les limites données, du fait qu'un écart important de la tension risque de provoquer des préjudices considérables aux appareils.

La tension à n'importe quel point du réseau électrique peut changer tout le temps.

On distingue :

**a)-** les changements longs de tension conditionnés par les variations des régimes de tension dans le centre d'alimentation et par les variations des charges du réseau, quand la vitesse de changement de la tension est inférieure à 1% par seconde, on les appelle : les écarts de tension.

**b)-** les variations rapides de tension de courte durée conditionnées par les branchements des consommateurs puissants au réseau (les démarrages) ou par les court-circuit.

Quand la vitesse de changement de tension est supérieure à 1% par seconde on les appelle : les variations de tension. Cette variation rapide de la tension constitue le phénomène appelé «Flicker».

### **II.2. Qualité de la fréquence :**

La fréquence est le critère le plus important pour les consommateurs de l'énergie électrique et pour les centrales électriques.

En ce qui concerne la fréquence, la déviation de sa valeur est admise dans les limites de 0.4% de la fréquence nominale qui est égale à 50%Hz. En général, on évalue la Qualité de la fréquence selon la stabilité.

### **II.3. Qualité de l'onde :**

Le générateur alimentant un réseau d'énergie électrique est construit de façon à fournir une F.e.m la plus proche possible d'une sinusoïdale d'où il supprime totalement les harmoniques en dentures de la fréquence fondamentale.

De telles sujétions entraîneraient un surcoût certainement excessif, eu égard à ce que la clientèle est prête à payer pour disposer d'un service de qualité.

De même pour assurer une qualité totale du produit livré, il faudrait que le distributeur consente des investissements colossaux :

- augmenter la puissance de court-circuit.
- Multiplier les régleurs de tension.
- Disposer de filtre pour réduire les harmoniques.

En résumé, l'exploitant d'un réseau de distribution doit mettre en œuvre un ensemble de moyens destinés à réduire le nombre et la durée des interruptions et à maintenir la tension voisine de la tension nominale. Mais il faut signaler que le distributeur d'électricité n'est pas seul responsable de la mauvaise qualité de l'électricité desservie. Par exemple :

Les fours à arcs sont à l'origine de phénomènes de flickers, c.-à-d. de tension variable dans le réseau proche, la mise en court-circuit de démarrage de gros moteurs asynchrones crée des chutes de tension ressenties dans le voisinage comme des microcoupures.

Le maintien de la fréquence est une préoccupation aussi bien du distributeur que du producteur.

### **II.4. Qualité de service :**

La qualité de service dépend également, des règles techniques de construction et d'exploitation du réseau électrique. Ainsi est-on assuré d'œuvrer au mieux de l'intérêt collectif : le service est assuré au coût minimal et le produit n'est pas gaspillé puisque chaque utilisateur paie ce que coûte la fourniture.

### III. Notions sur la puissance électrique :

Il est plus facile d'expliquer les phénomènes électriques en travaillant avec les puissances plutôt qu'avec les tensions et les courants.

#### III.1. la puissance instantanée :

C'est la puissance consommée par un récepteur monophasé alimenté par une tension sinusoïdale et qui peut se mettre sous la forme :

$$P = \underbrace{V \cdot I \cdot \cos(1 - \cos 2\omega t)}_{(A)} - \underbrace{V \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sin 2\omega t}_{(B)} \quad (\text{I.1})$$

Si le courant et la tension sont sous la forme :

$$V(t) = V_m \sin \omega t \quad (\text{I.2})$$

$$I(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (\text{I.3})$$

V(t) et I(t) sont la tension et le courant du récepteur

La valeur moyenne de la composante (A) est appelée puissance active elle s'exprime en watts :

$$P = V_{eff} I_{eff} \cos \varphi \quad (\text{W}) \quad (\text{I.4})$$

La composante (B) caractérise un échange de puissance fluctuante, de valeur moyenne nulle, entre le récepteur et le réseau, cette composante est appelée puissance réactive et elle exprimée en voltampère réactive.

$$Q = V_{eff} I_{eff} \sin \varphi \quad (\text{VAR}) \quad (\text{I.5})$$

#### III. 2 la puissance apparente :

Cette puissance est définie comme le produit des valeurs efficaces de la tension et du courant et elle s'exprime en voltampère :

$$S = V_{eff} I_{eff} \quad (\text{VA}) \quad (\text{I.6})$$

Elle ne se conserve pas et elle est utilisée pour le dimensionnement des matériels.

Il existe entre P, Q et S les relations suivantes :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{VA}) \quad (\text{I.7})$$

### III. 3 La puissance active :

La puissance active  $P$  est une composante constante égale à la valeur moyenne de la composante (A) de la puissance instantanée  $p(t)$ , cette composante représente la puissance développée par l'alternateur si celle-ci débitait sur une résistance pure.

La puissance active  $P$  effectue le travail utile, elle se transforme en énergie mécanique (moteur) et en énergie calorifique (chaleur pour éléments résistifs).

En système triphasé équilibré en régime permanent (cas générale) la puissance active  $P$  est donnée par l'expression suivante :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{I.8})$$

### III. 4 La puissance réactive :

Elle est utile lorsqu'il existe un déphasage entre la tension et le courant qui traverse le récepteur c'est-à-dire lorsque celui-ci comporte des inductances ou des condensateurs en régime sinusoïdale, elle caractérise l'existence d'une composante du courant qui ne donne lieu à aucun échange de puissance moyenne mais qui occasionne des pertes et des chutes de tension en cas d'excès.

Dans le cas considéré d'un régime sinusoïdal, les puissances réactives produites et consommées se conservent au même titre que les puissances actives.

En système triphasé équilibré en régime permanent (cas générale) la puissance réactive est donnée par l'expression suivante :

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (\text{I.9})$$

### III.5. Les sources et les effets de l'énergie réactive : [3]

#### III.5.1 Les sources :

Tous les machines électriques à courant alternatif et les réseaux électriques consomment ou produisent l'énergie électrique active ou réactive à partir des sources.

Par exemple les sources réactives sont :

- Les moteurs synchrones.
- Les condensateurs shunts.
- Les centrales électriques.
- Les lignes ouvertes.

### III.5.2 Effets du transit de l'énergie réactive :

Pour satisfaire à la demande de la consommation active de la clientèle, on essaye de minimiser les pertes actives entraînées par le transport, ainsi que la chute de tension, ces deux grandeurs sont en rapport avec le transit de la puissance réactive.

Considérons une liaison assimilable à une impédance  $Z=R+jX$ , qui transporte de A vers B une puissance  $S=P+jQ$ . Figure (1.1)

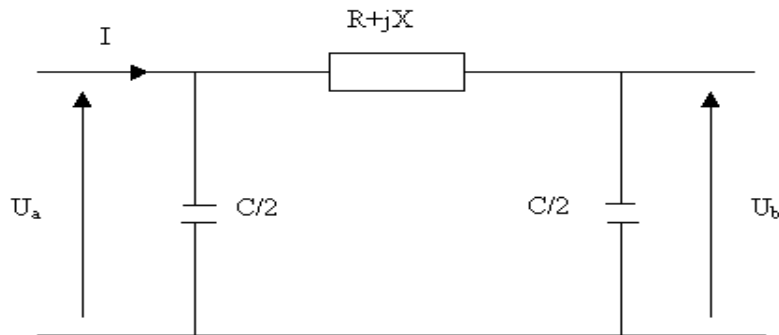


Figure (1.1) : schéma de ligne HT ou THT en  $\pi$

### III.5.3. Pertes actives :

Les pertes de puissance active sont calculées d'après la formule :

$$\Delta P = 3RI^2$$

Le courant qui circule dans cet élément est :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

D'après l'équation (1.7)

$$\Delta P = \frac{R \cdot (P^2 + Q^2)}{U_B^2} = \frac{R \cdot P^2 \left( 1 + \left( \frac{Q}{P} \right)^2 \right)}{U_B^2} \Rightarrow$$

$$\Delta P = \frac{R \cdot P^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{U_B^2} \quad (\text{I.10})$$

$\varphi$  : Angle de déphase entre la puissance active et la puissance apparente,

$$\text{Alors } \operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

**Remarque :** le transit de puissance réactive entraîne une augmentation des pertes actives.

### III.5.4. La chute de tension :

La chute de tension entraînée par ce transport est

$$\Delta \bar{U} = \sqrt{3} \cdot \bar{Z} \cdot \bar{I} \quad \text{Avec} \quad \bar{I} = \frac{P - jQ}{\sqrt{3}U_B}$$

Soit :  $\bar{U}_B = U_B \angle 0^\circ$

$$\Delta \bar{U} = \frac{RP + XQ}{U_B} + j \frac{XP - RQ}{U_B} \quad (\text{I.11})$$

$\Delta U$  : chute de tension.

$\bar{\Delta U}$  : Chute de tension en complexe.

R : résistance de la ligne AB.

X : réactance de la ligne AB.

**Remarque :** pour les réseaux de transport R est faible devant X, donc cette chute de tension est majorée principalement par le transit de la puissance réactive.

**Conclusion:** le transit de la puissance réactive entraîne:

- des pertes active, et chutes de tension.
- des surinvestissements.
- dérèglement de la tension du réseau dans une plage déterminée.

## III.6. Le facteur de puissance :

### III.6.1. Définition :

Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente d'un circuit. Le facteur de puissance est assimilable au cosinus de l'angle  $\varphi$  (déphasage courant-tension) si les courants et les tensions sont de forme sinusoïdale.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (\text{I.12})$$

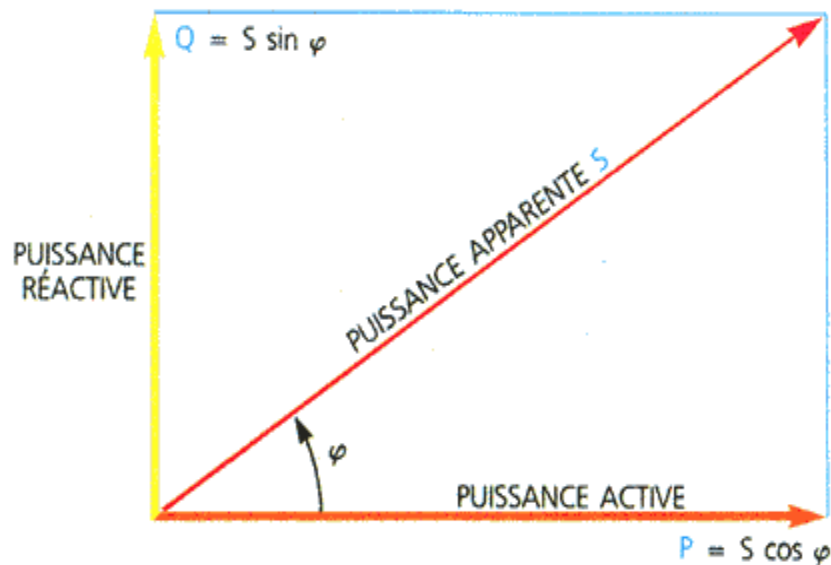


Figure (1.2) : représentation des puissances par FRESNEL

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.6.2. Avantages du relèvement du facteur de puissance :

Cette amélioration présente de nombreux avantages :

- diminution de la facture d'électricité en évitant les pénalités due à la consommation d'énergie réactive.
- réduction de la puissance souscrite par les abonnés,
- diminution de la section des câbles,
- diminution des pertes en ligne,
- réduction de la chute de tension en ligne,
- augmentation de la puissance active disponible du transformateur.

## **II-1.Introduction :**

Les problèmes de tenue de tension et de compensation de l'énergie réactive, se posent toutefois d'une manière très différente selon le type de réseau. Des caractéristiques et des objectifs si différents nécessitent de découpler les différents réseaux du point de vue de la tension, un tel découplage permet d'aborder de manier relativement indépendant, les problèmes de compensation d'énergie réactive et de tenue de tension, sur les réseaux transport et de répartition, d'une part et sur les réseaux de distribution d'autre part.

Sur les réseaux de transport et de répartition, on cherchera à minimiser les transits d'énergie réactive et à maintenir un plan de tension aussi haut que possible afin de limiter les pertes joule, tout en respectant des valeurs compatibles avec la tenue des matériels ( lignes, transformateurs, câbles ).

Sur les réseaux de distribution, l'objectif sera de maintenir la tension à une valeur aussi proche que possible de la valeur nominale afin de garantir une bonne utilisation des appareilles de la clientèle.

Des sources de puissance réactive seront installées dans le jeu certains jeux de barre dans le but de garder le système de tension dans les limites désirées et améliorer la qualité de livraison et de distribution.

## II.2. Définition :

COMPENSATION : COMMENT ? ET PERQUOI ?

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

$$S = P + jQ = UI[\cos \varphi + j \sin \varphi].$$

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 :

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}$$

Par conséquent le 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 de 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.

## II.3. Compensation de l'énergie réactive : (figure (1 ,2) [4]

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 ( $\cos \varphi$ ). Soit un appareil ou groupe d'appareils appelant

une puissance active  $P$  (W) et une puissance réactive (VAR). On souhaite réduire la  $\tan \varphi$  à une valeur plus faible  $\tan(\varphi')$ .

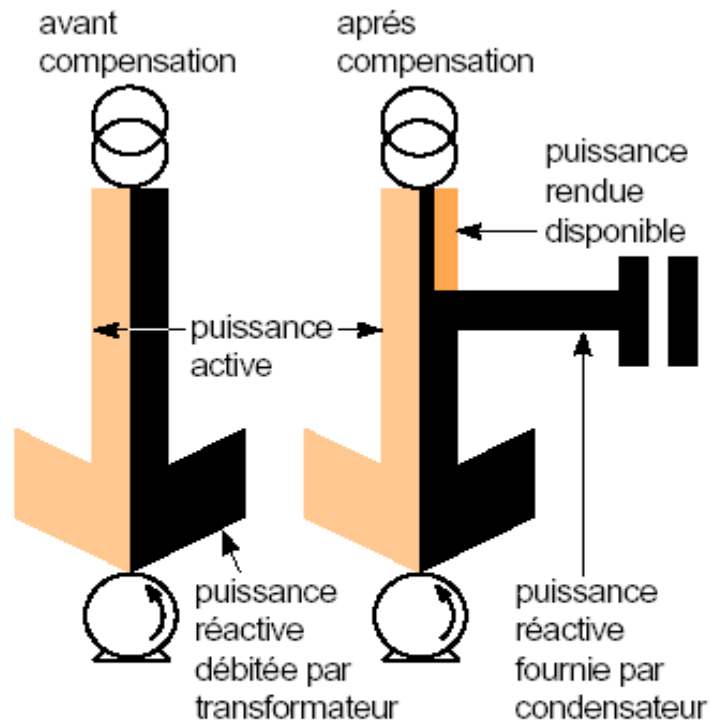


Figure 01 : diagramme traduisant les changes d'énergie dans le circuit d'alimentation d'un récepteur est montrant l'intérêt de la compensation.

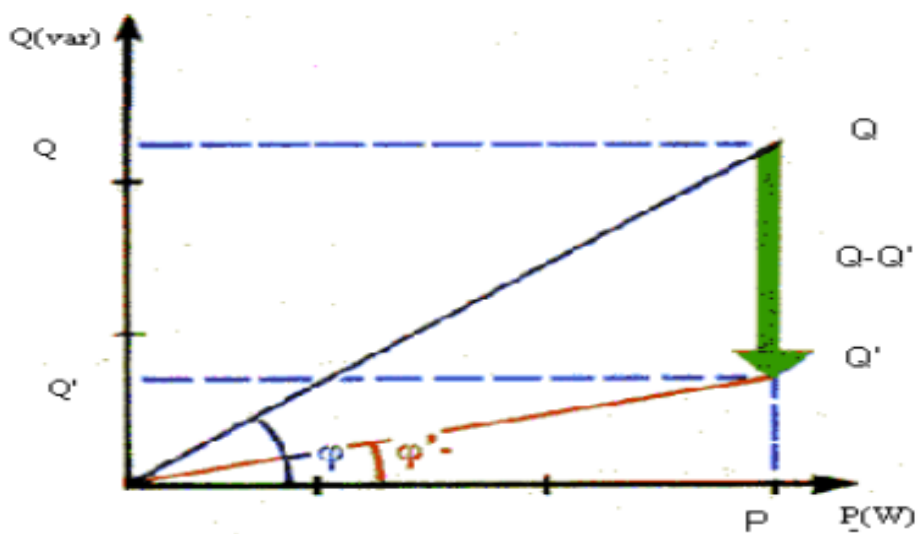


Figure 2. : Diagramme vectoriel représentant l'importance de La compensation

$Q$  : 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.

$$Q = P \cdot \text{tg } \varphi \quad \text{et} \quad Q' = P \cdot \text{tg } \varphi'$$

La puissance des condensateurs à installer sera égale à :

$$Q_b = Q - Q' \tag{II.1}$$

$$Q_b = P (\text{tg } \varphi - \text{tg } \varphi') \tag{II.2}$$

Les valeurs de  $\cos \varphi$  et de  $\text{tg } \varphi$  évoluent avec le temps il convient d'utiliser des valeurs moyennes de ces dernières pour l'utilisation de la formule (II.2).

## II.4. Le besoin de la compensation de la puissance réactive : [6]

Les équipements de puissance réactive ont des effets bénéfiques qui sont :

- Le facteur de correction de la puissance.
- Amélioration de la régulation des niveaux de tension.
- La stabilité du système de puissance.

### II.4.1. facteur de correction :

En général dans une installation bien dimensionnée la valeur de  $\cos \varphi$  est convenable lorsque chaque machine absorbe une puissance active proche de sa puissance nominale. Cependant une telle installation consomme une puissance réactive dont une partie est due au courant magnétisant des transformateurs et des moteurs asynchrones, et qui est indépendante de la puissance active absorbée. Si cette puissance active diminue, il en est de même du facteur de puissance, ce qui correspond à une mauvaise utilisation des investissements.

En fin un facteur de puissance de faible valeur a souvent, pour causes de mauvaises conditions d'utilisation du matériel, ces conditions correspondent :

- pour les transformateurs, à un fonctionnement à vide ou à faible charge.
- pour les moteurs asynchrones, à des marches à vide, ou faibles charges fréquentes, aux quelles il convient d'ajouter parfois un niveau de tension trop élevé.

- Pour l'éclairage fluorescent, a une mauvaise conception.
- Pour améliorer le facteur de puissance, on augmente la diminution de  $\text{tg}\varphi$ , ce qui s'obtient par diminution de l'énergie réactive absorbée en utilisant, des dispositifs de compensation qui apporte à l'ensemble de l'installation tout ou une partie de l'énergie réactive qu'elle consomme.

#### **II.4.2. Amélioration de la régulation de la tension :**

Quand la puissance qui alimente une charge a travers une ligne de transmission garde la tension a l'extrémité constante, la tension de la charge subit des variations dépendant de l'amplitude et du facteur de puissance de la charge .

La variation de la tension dans un nœud est une indication d'un déséquilibre entre la puissance réactive gènèrèe et consommée par ce nœud,

Les amplitudes du système de tension doivent être soit élevées pour supporter les charges, soit basses pour éviter la détérioration des équipements, donc elles doivent être contrôlées dans tous les nœuds du réseau.

Le méthode évidente pour varier la régulation de la tension est de renforcer la puissance au système par augmentation de la dimension et le nombre d'unités de génération .En général cette approche n'est pas économique, et la régulation de la tension est réalisée par l'alimentation des nœuds de charge en énergie réactive.

#### **II.4.3. Stabilité du système de puissance :**

La stabilité du système de puissance peut être définie comme une propriété qui assure que le système reste en équilibre durant les conditions normales et aussi anormales.

L'étude de la stabilité du système nous renseigne sur les caractéristiques de tous ces éléments.

Le but de cette étude est de déterminer l'aptitude de la majorité des éléments rester dans le synchronisme durant et après les défauts transitoires et tous les changements dans tout le système.

Cette étude est nécessaire pour la détermination du degré de la stabilité et l'évolution des appareils et des caractéristiques du système qui affecte la stabilité.

Le contrôle de la tension par compensation peut avoir une influence positive sur la stabilité du système durant les perturbations.

## **II.5.Compensation de l'énergie réactive et tenue de tension : [5]**

### **II.5.1.Principe :**

On peut considérer que le plan de tension sur un réseau est déterminé à partir des valeurs de la tension en un nombre de sommets ou l'on dispose de source de tension qui permet de fixer et de respecter une consigne de tension.

Sur les réseaux THT et HT les chutes de tension sont dues en grande partie aux transits d'énergie réactive. Le contrôle de la tension en ces sommets passe par un contrôle de ces transits. La compensation de la puissance réactive dans ce cas s'obtient par une localisation et utilisation appropriées moyens de compensation tels-que les condensateurs ou les inductances.

En règle générale, on s'efforcera de minimiser les transits de l'énergie réactive sur les réseaux de transport, d'une part, en compensant une grande partie de la consommation réactive des charges grâce à des condensateurs installés dans les postes HT/MT, et d'autre part, en compensant les pertes dans les ouvrages (lignes, câbles, transformateurs ...) à l'aide des groupes ou des moyens spécifiques tels que les inductances raccordées aux réseaux THT

### **II.5.2.Origine et valeurs limites de tension admissible :**

Il existe en chaque sommet du réseau, des valeurs limites de la tension, qui ne peut être franchies. Ces contraintes ont pour origine les caractéristiques des matériels utilisés, les clauses contractuelles d'alimentation de la clientèle raccordée au réseau HT et le domaine de fonctionnement des régleurs en charges des transformateurs THT/HT et HT/MT.

## **II.6.Reglage de la tension :**

L'organisation du réglage de la tension et de la compensation de l'énergie réactive sur un réseau repose sur deux principes :

- Une séparation dans l'espace de l'action de réglage selon la fonction des réseau (Transport, répartition, distribution), ce qui conduit à un réglage autonome du plan de tension sur chaque réseau.

- Une séparation dans le temps des actions de réglage suivant qu'il s'agit d'automates locaux (réglage de la tension aux bornes des groupes, régleurs en charge) ou centralisés (suivi des variations lente de tension).

### **II.6.1.reglage de la tension sur les réseaux HT :**

La tension sur le réseau HT est réglée principalement, par l'intermédiaire des régleurs en charge des transformateurs THT/HT.

Le fonctionnement du régulateur de tension doit être coordonné dans le temps et dans l'espace pour :

- Limiter les transits de puissance réactive entre ouvrages voisins.
- Éviter les instabilités avec les équipements de réglage de tension installés en MT et THT.
- Laisser le temps d'agir à certains automates (rèenclencheurs).

En ce qui concerne la gestion de la puissance réactive, les réseaux de répartition sont essentiellement caractérisés par l'appel de consommation provenant des réseaux MT.

Afin de minimiser les inconvénients dus au transit de puissance réactive, on cherche à installer les moyens de compensation au plus près des charges, tout en tenant compte des facilités d'installation et d'exploitation, cela conduit à les placer dans les postes HT/MT ou THT/MT.

On utilise dans ce cas des batteries de condensateurs installées sur les jeux de barres MT de ces postes afin de compenser les charges réactives locales et une partie des pertes réactives sur les réseaux en amont, lorsque les pertes réactives sur les réseaux amonts (HT et THT) sont importantes (à partir de 10 à 20 MVAR), ce qui nécessiterait de surcompenser les charges en MT. On installe des batteries de condensateurs HT, généralement raccordées aux jeux de barre des postes THT/HT.

### **II.6.2. réglage de la tension sur les réseaux THT :**

Divers éléments concourent à provoquer des fluctuations importantes et rapides de la demande d'énergie réactive sur les réseaux THT :

- Le caractère aléatoire de la consommation et le cumul sur ces réseaux, des écarts entre production et consommation sur les réseaux de tension inférieure.
- Les variations de la production ou de l'absorption d'énergie réactive par les lignes en fonction d'exploitation.
- Les aléas d'exploitation (pertes de groupe ou de lignes).

L'objectif du réglage de la tension est donc, en premier lieu, de limiter l'impact de ces fluctuations sur le plan de tension, en agissant rapidement et localement sur les groupes de production, en second lieu, il convient de veiller à ce que l'action des différents moyens de réglage n'aboutissent pas à des phénomènes d'instabilités ou à des incohérences (fourniture et absorption simultanées de puissance réactive), il faut également que l'on dispose toujours de réserve l'énergie réactive suffisante pour faire face aux incidents.

### II.6.3. réglage de la tension sur les réseaux MT :

Les variations de la tension sont de deux types :

- celles qui sont dues à l'augmentation progressive, année par année, des consommations : accroissement des charge existantes et apparition de nouveau clients (en MT comme BT), ce qui se traduit par une augmentation des transits actifs et réactifs et donc des chutes de tension.
- celles qui sont dues aux variations de la charge appelée suivant les heures de la journée ou les mois de l'année.
- Les moyens pour lutter contre le premier type sont du domaine de la planification, ceux pour lutter contre le deuxième sont du domaine de l'exploitation :

#### II.6.2.1. Plantification :

La méthode de réglage de la tension dans ce cas utilise des données relatives aux consommations et puissance souscrites par les client, ainsi que les données concernant les réseaux (architecture, longueur, section) .

Des programmes informatiques facilitent, en BT comme en MT la mise en œuvre de cette méthode en simulant l'accroissement des consommations, il est alors possible de prévoir ou et quand les valeurs limites seront dépassées et d'agir en conséquence.

#### II.6.2.2. Exploitation :

La régulation de la tension dans ce cas obtenue par :

A/- Prise à vide :

Suivant la position du poste MT/BT sur le réseau MT, on utilise l'une des trois prises :

- La prise haute, pour les postes MT/BT éloignées de la source HT/MT.
- La prise médiane ou la prise basse, pour les postes les plus proches de la source HT/MT.

B/- Utilisation de régleur :

Il existe, en général, plusieurs positions du régleur qui pour un niveau donné de la puissance appelée en aval d'un transformateur, respectent les limites contractuelles.

Le réglage de la tension consiste à trouver à l'intérieur de cette plage, des valeurs possibles, celle qui minimise en moyenne, pour le réseau considère, la gêne du client due aux écarts de la tension.

Au niveau du régleur en charge, la seule donnée pouvant être mesurée, donc prise en compte, est la puissance  $P$  appelée en aval du transformateur. Trouver la loi à laquelle doit obéir le régleur, c'est trouver la loi, qui minimise cette gêne.

## **II.7.Conclusion :**

Dans ce chapitre on s'aperçoit l'importance de la compensation de l'énergie réactive pour le fonctionnement optimal de l'ensemble du réseau électrique considéré comme un système énergétique.

Etant donné que le réseau a différentes fonctions et à différents régimes de fonctionnement, selon l'utilisation ce qui aura comme effets différents types 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.

### III -1. Introduction :

Pour le fonctionnement optimal du réseau, soit du point de vue de sécurité des éléments du réseau, soit de point de vue de qualité de l'énergie fournit aux différents utilisateurs, la compensation de l'énergie réactive est plus qu'obligatoire, toute fois le type de compensation diffère selon la fonction de réseau.

Dans ce chapitre nous représentons les types, les moyens, et les modes de compensation l'énergie réactive et leurs caractéristiques.

### III -2. Différente type de compensation : [1]

#### III -2-1. Compensation shunt :

Les condensateurs de puissance sont les plus souvent installés en dérivation sur le réseau. C'est ce que l'on nomme " la compensation SHUNT".

Pratiquement, ils sont connectés aux bornes du réseau suivant un couplage étoile ou triangle. Les condensateurs fournissent à la pulsation  $\omega$  une puissance  $Q_C$ , la dimension du condensateur est liée à sa puissance. Celle - ci peut atteindre 200 à 300 MVAR.

Les condensateurs SHUNT sont utilisés soit en basse tension souvent auprès des appareils d'utilisation les plus puissants, soit en moyenne tension où ils sont regroupés en batteries de quelques MVAR.

En moyenne tension, les batteries sont installées pas l'intermédiaire d'un disjoncteur sur le jeux de barres moyennes tensions des postes HT / MT. Ces batteries compensent les charges réactives locales et une partie des pertes réactives sur les réseaux en amont.

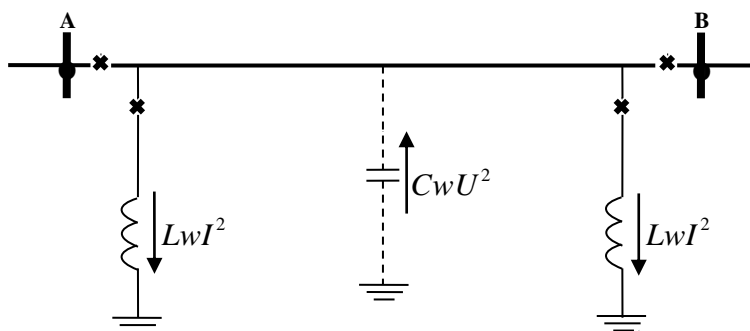


Fig. (3.1) : compensation shunt

### III -2-2. Compensation série

Les condensateurs sont placés en séries sur une ligne dont ils compensent la réactance. La compensation série est employée sur certaines lignes à haute tension à la fois très longues et très chargées. Elle est justifiée par des considérations telle que la stabilité. Ce type de compensation est assez exceptionnel.

Mentionnons que les principaux problèmes résident dans la protection contre les surintensités qui traversent les batteries lorsqu'un court-circuit se produit sur la ligne où elles sont installées.

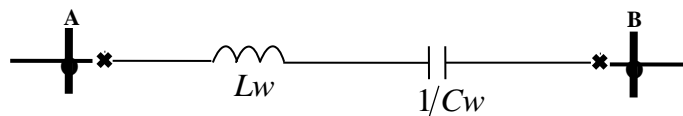


Fig. (3.2) : compensation série

### III-3. Les moyens de compensation :

Il y a plusieurs sources qui sont capables de produire de l'énergie réactive, ce qui permet de les utiliser comme des moyens de compensation d'énergie réactive et peut les classer comme suit :

- Les compensateurs rotatives : qui sont les moteurs synchrones.
- Les compensateurs statiques : qui sont les batteries de condensateurs.

#### III-3-1. Les moteurs synchrones : [9]

On appelle compensateur synchrone, un moteur synchrone qui tourne à vide et dont la seule fonction est de fournir ou d'absorber de la puissance réactive sur une ligne de transport ou sur un réseau. Pour régulariser la tension d'un réseau, on doit lui fournir une puissance réactive pendant les heures de pointe. Inversement, pendant les périodes creuses, on doit absorber l'excès de puissance réactive générée par les lignes. Le compensateur synchrone permet de compenser ces fluctuations de puissance réactive en ajustant l'excitation selon les besoins.

Le compensateur agit alors comme une énormes capacitance ou inductance variable dont la valeur est réglable en faisant varier le courant d'excitation de son rotor.

Supposons que le moteur absorbe une puissance active de 800kW d'un réseau triphasé à 577V, et une réactance synchrone de  $0.35 \Omega$  . Sa courbe de saturation donnant E en fonction de J le courant d'excitation. Figure (3.3)

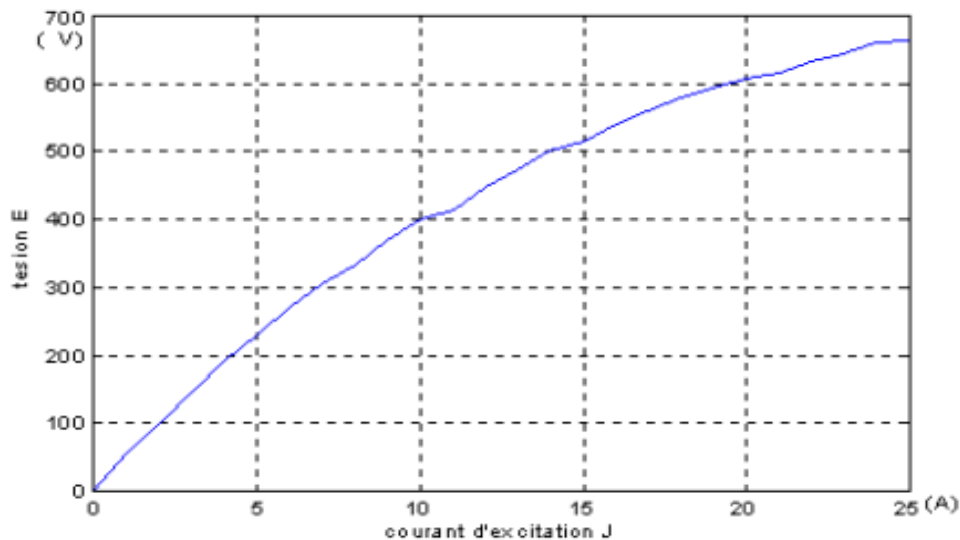


Fig. (3.3) : courbe de saturation d'un moteur synchrone de 800kw

- ajustons l'excitation de sorte que le moteur opère à un facteur de puissance unitaire

le tiré du réseau est donné par :

$$I = (800/3 \cdot 333) = 800 \text{ (A)}$$

La chute de tension dans la réactance synchrone est :

$$E_x = 800 \text{ (A)} \cdot 0.35 \text{ (\Omega)} = 280 \text{ (V)}$$

D'après le diagramme vectoriel, la tension induite égale à 435V, et obtient cette valeur, il faut J d'environ 11(A), figure (3.4.a).

\_\_si l'on réduit le courant d'excitation à 7(A), le moteur absorbera une puissance réactive du réseau (le moteur est sous excité), en plus la puissance active la valeur correspondante de E est de 306 (V), cela fait augmenter la puissance apparente à 1000 (A) le circuit équivalent et le diagramme vectoriel sont donnés sur la figure (3.4.b)

\_\_augmentons le courant d'excitation, le moteur devienne surexcité. Supposons que l'excitation soit ajustée afin que le moteur un facteur de puissance de 0.8 en avance (égale à la même valeur de deuxième cas J=7(A)) .donc le moteur débite 600 (KVAR) au réseau, avec toujours une puissance active constante figure (3.4.c).

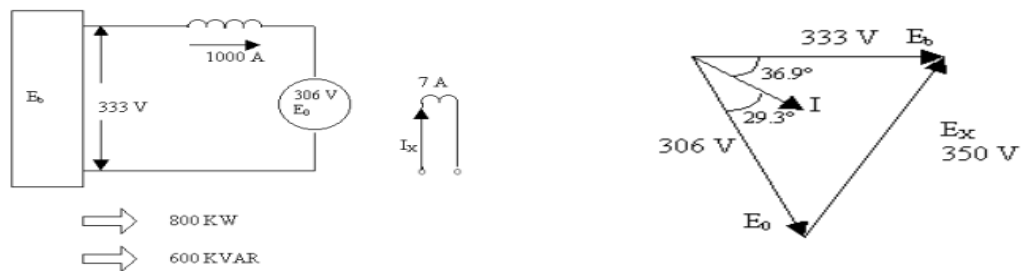
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 800^2} = 1000 \text{ (VA)}$$

Le courant du réseau sera 1000(A)

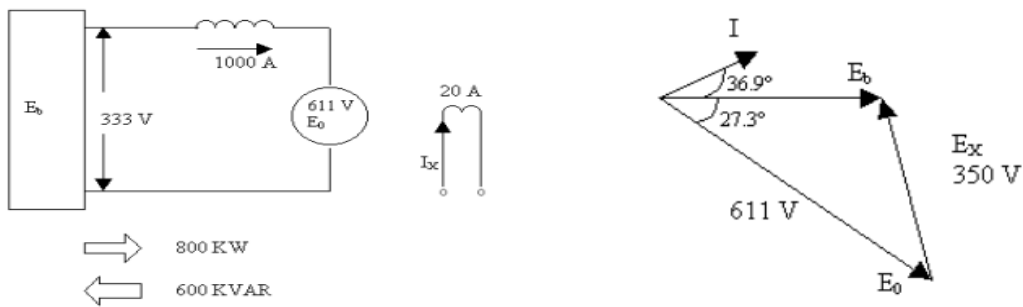
Le diagramme vectoriel indique que la tension E est 6011(V) ce qui exige un courant d'excitation de 20(A)



A) excitation normale  $I_x = 11 \text{ A}$



B) moteur sous-excité  $I_x = 7 \text{ A}$



C) moteur surexcité  $I_x = 20 \text{ A}$

Figure (3.4) : puissance active et réactive pour trois excitations différentes et diagramme vectoriels correspondants

### II.3.2- Les batteries de condensateurs : [10] [11]

La puissance réactive fournie par la batterie est constante quelles que soient les variations du facteur de puissance de la charge et de la consommation d'énergie réactive de l'installation.

#### III.3.2.1- La puissance réactive d'une batterie de condensateurs :

Soit un condensateur de capacité  $C$  (Farad) sous une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V(V)$ , et de fréquence  $f(\text{Hz})$ , fournit une puissance réactive :

$$Q_C = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot V^2 \quad (\text{VAR}) \quad (\text{III.1})$$

Les condensateurs de puissance sont groupés sous forme de batteries généralement triphasées, couplées au réseau en deux montages suivants :

- montage triangle : qui est représenté par la figure suivante.

$$\text{On a } Q_{\Delta} = 3 \cdot Q_C$$

Alors

$$Q_{\Delta} = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U^2 \quad (\text{VAR}) \quad (\text{III.2})$$

Avec :

$Q_{\Delta}$  : la puissance réactive du montage ( $\Delta$ ) en (VAR).

$Q_C$  : la puissance réactive d'un condensateur en (VAR).

$U$  : tension composée en (V).

$\omega$  : la pulsation de tension en (rad/s).

$C$  : la capacité d'un condensateur en (farad).

- montage étoile : qui est représenté par la figure suivante.

$$Q_Y = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot V^2 \quad (\text{VAR}) \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$Q_Y$  : la puissance réactive du montage étoile en (VAR).

$V$  : la tension simple en (V) avec  $U = \sqrt{3}V$  (V).

Donc d'après (II.11), (II.12) on peut déduire

$$Q_{\Delta} = 3 \cdot Q_Y \quad (\text{VAR}) \quad (\text{III.4})$$

de cette dernière formule (III.4), on remarque que l'énergie réactive fournie par le montage triangle est trois fois que l'énergie réactive fournie par le montage étoile et pour ça l'utilisation du montage triangle est très vaste pour la compensation de l'énergie réactive.

### III.3.3-Types de batteries : [11], [12]

On distingue deux types de batteries suivant leur raccordement :

- le branchement en dérivation pour les batteries shunt.
- le branchement en série entre la source et la charge pour les batteries en série.

#### III.3.3.1- Batterie shunt :

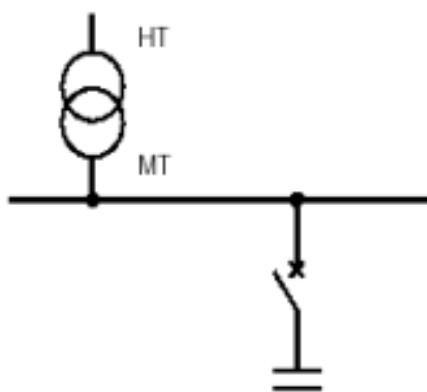
Une batterie de condensateurs shunt est une installation en dérivation du réseau. Elle est raccordée entre phases, ou entre phase et neutre, ou entre phase et terre.

Les batteries peuvent être installées en simple étoile ou en double étoile (figure 3,7) quand elles sont raccordées entre phase et neutre ou terre. Elles sont installées en triangle (figure 3,8) quand elles sont entre phases.

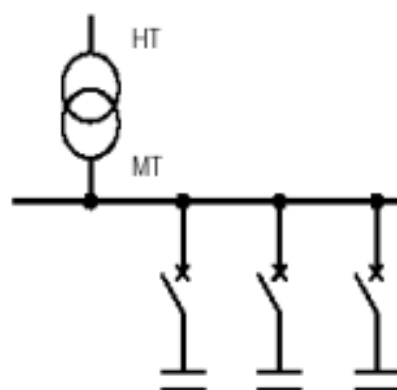
Les batteries shunts sont le plus souvent utilisées sur les réseaux.

Elles peuvent être :

- Uniques (figure. 3,5) : Lorsque leur puissance réactive est faible et la charge relativement stable.
- Multiples ou fractionnées (figure. 3, 6) : Ce type de compensation est communément appelé en « gradins » (condensateur+disjoncteur). Ce type de batterie est très utilisé par certaines grosses industries (forte puissance installée) et les distributeurs d'énergie (dans les postes sources). Il permet une régulation pas par pas de l'énergie réactive.



*Fig. (3.5) : batterie de condensateur unique*



*Fig. (3.6) : batterie de condensateur multiple*

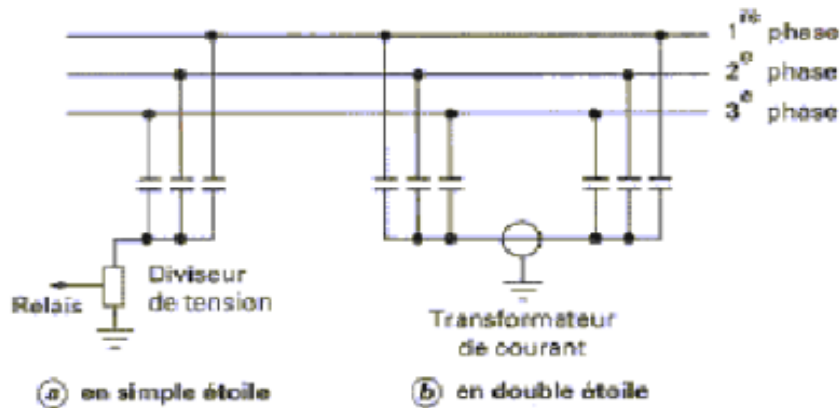


Fig. (3.7) : batterie shunt en étoile

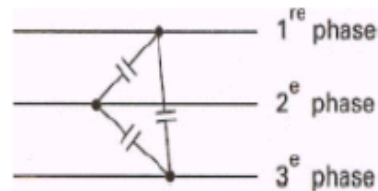


Fig. (3.8) : batterie shunt en triangle

### III.3.2.2- Batteries en série :

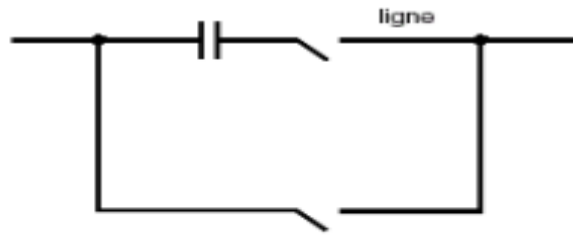
On peut réduire  $X = jL$ . En insérant en série sur la ligne électrique une capacitance  $1/C$ ; l'impédance de la ligne devient alors. D'où  $Z < X$

Les batteries en série sont peu utilisées sur les réseaux, surtout à moyenne et basse tension. Par contre, sur les lignes de transport à grande distance, sous des tensions supérieures à 220kV, leur utilisation est fréquente et leur puissance réactive est toujours importante.

Ces batteries jouent, en plus de l'amélioration de la capacité de transport d'énergie du réseau et d'autres rôles :

- maintien de la tension d'un réseau à facteur de puissance normal.
- répartition des charges, dans le cas de lignes fonctionnant en parallèle.

Les puissances des batteries en série atteignent quelques centaines de méga vars. Elles comportent des plates-formes isolées, à la même tension que la ligne (figure (3,9)).



**Fig. (3.9) : batterie série**

La mise sous tension de ces batteries est assurée suivant les moyens :

- \_\_ soit manuelle par disjoncteur ou interrupteur.
- \_\_ soit semi-automatique par contacteur commandé à distance.

#### **III.4- Les avantages des batteries :** de tous les équipements statiques :

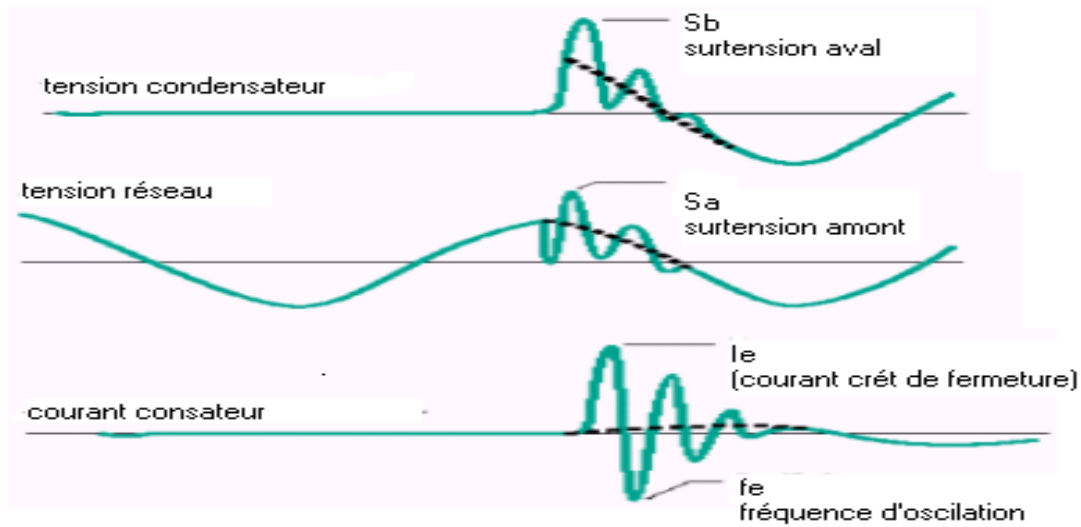
- l'absence d'usure mécanique et un entretien réduit ;
- de faibles pertes ;
- \_\_ un faible volume et une installation facile.
- \_\_ Peuvent être fractionnés suivant les besoins.
- \_\_ Soit leur prix est moins élevé que les compensateurs rotatifs, qu'elle que soit la puissance.

#### **III.5- Les inconvénients des batteries :**

- la puissance réactive fournie n'est pas réglable simplement ;
- la puissance réactive fournie varie avec la tension d'alimentation ;
- la mise sous tension provoque un violent appel de courant ;
- si la fréquence de résonance avec l'inductance de la source est proche de celle d'un harmonique existant, cet harmonique est amplifié et peut devenir gênant ou dangereux.
- \_\_ L'inconvénient le plus important c'est le régime transitoire après l'enclenchement et déclenchement parce que :

L'enclenchement d'une batterie de condensateurs destinée à fonctionner en dérivation sur un réseau est accompagné d'un régime transitoire résultant de la charge de la batterie.

Schéma de principe et courbes de courant et de tension montrant la surintensité de courant et les surtensions amont et aval qui accompagnent l'enclenchement est représenté sur la Figure (3,10).



*Fig. (3.10) : courant et tension lors de couplage au réseau d'un batterie isolé*

### III .6-Mode de compensation :

Suivant les conditions qui peuvent se présenter et en tenant compte des explications qui suivent, il existe quatre modes de compensation de l'énergie réactive en basse tension :

- Compensation individuelle.
- Compensation par secteur.
- Compensation globale.
- Compensation combinée.

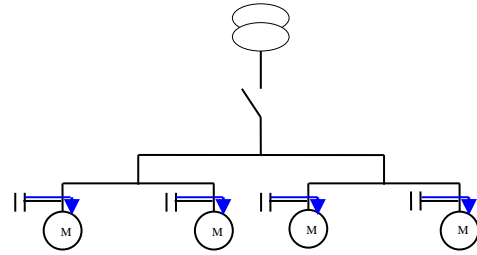
#### III .6.1- Compensation individuelle

- La compensation individuelle est surtout conseillée lorsqu'un récepteur de puissance supérieur à 25KW existe, ou doit être installé, et s'il demeure sous tension pendant la majeure partie des moteurs entraînant des machines de grande inertie : pompes, compresseurs ou ventilateur.

La manœuvre de l'interrupteur propre au récepteur provoque alors automatiquement l'enclenchement ou le déclenchement du condensateur.

**A)- Avantages :**

- Supprime la facturation d'énergie réactive.
- Constitue, sur le plan technique, la solution idéale puisque l'énergie réactive est produite à l'endroit où elle est consommée ; les pertes joules ( $RI^2$ ) sont donc diminuées dans toutes les lignes.
- Soulage le transformateur.

**Remarque :** Solution la plus coûteuse compte tenu :

- de la multiplicité des installations.
- de la non-intégration du coefficient de foisonnement.

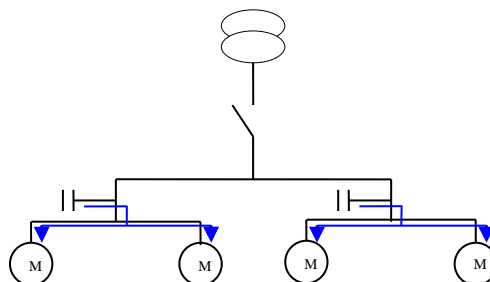
**B)-Inconvénients :**

Quant il s'agit de récepteurs qui sont relativement peu souvent alimentés, la compensation individuelle ne permet pas d'utiliser au mieux la puissance des condensateurs installés car elle ne prend pas en compte le foisonnement des charge.

Pour les petits récepteurs, la compensation individuelle est relativement coûteuse, car Plusieurs petits condensateurs plus chers qu'un seul condensateur de puissance totale.

**III.6.2- Compensation par secteur :**

Dans le cas de la compensation par secteur (ou atelier) plusieurs récepteurs sont reliés à une batterie de condensateur commune qui est manœuvrée par son propre appareillage. Dans les grandes installations, la batterie compense l'ensemble des consommateurs d'énergie réactive d'un atelier ou d'un secteur. Cette forme de compensation est conseillée pour des installations où un certain nombre de récepteurs sont simultanément mis en service et d'une façon quasi reproductible dans le temps. Dans ce cas, un seul organe de manœuvre seffit.



**A)- Avantages :**

- Supprime la facturation d'énergie réactive.
- Soulage une grande partie des FEEDERS d'alimentation et diminue dans ces FEEDERS les pertes joules ( $RI^2$ ).
- Intègre le foisonnement de chaque secteur.
- Soulage le transformateur.
- Reste économique.

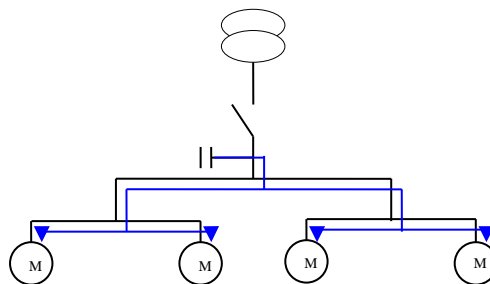
**Remarque :** Solution généralement utilisée pour un réseau usine très étendu.

**B)- Inconvénients :**

- Les câbles alimentant les différents récepteurs ne sont pas soulagés.
- Il faut prévoir une protection des condensateurs (fusible, disjoncteur, etc.) et des résistances de décharge pour des questions de sécurité lors maintenances.
- Il faut en outre surveiller régulièrement les fusibles.

**III .6.3-Compensation globale :**

Dans le cas de la compensation globale, la production d'énergie réactive est groupée en seul endroit, le plus souvent dans le poste de transformation. Toutefois, il n'est pas nécessaire que l'installation des condensateurs soit faite juste au niveau de comptage. Au contraire, il est recommandé d'installer les condensateurs à un endroit approprié qui tienne compte de contraintes diverses telles que l'encombrement. Il faut toutefois veiller à ce que la puissance réactive soit la mieux répartie possible sur la ligne principale.

**A)- Avantages :**

- Supprime la facturation d'énergie réactive.
- Représente la solution la plus économique car toute la puissance est concentrée en un point et le coefficient de foisonnement permet des batteries bien optimisées.
- Soulage le transformateur.

**Remarque :** Les pertes dans les câbles ( $Rl^2$ ) ne sont pas diminuées.

**B)-Inconvénients :**

les installations de distribution en aval du raccordement de la compensation globale véhiculent toute la puissance.

**III.7-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. Le moteur synchrone prouvent également fournir d'énergie réactive, mais leur fonction principale, la force motrice, n'est pas toujours compatible avec le demande instantanée puissance réactive. Les compensateurs synchrones sont aujourd'hui délaissée malgré leur mérites, parce qu'ils sont trop coûteux en investissement et en frais d'exploitation.



## IV.1.Introduction :

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à calculer les tensions du réseau électrique pour des extrémités spécifiées et des conditions données aux jeux de barres.

L'étude de l'écoulement de puissance coordonne l'exploitation de toutes les ressources d'énergie et la répartition de la production entre les différents usagers, dont le but est d'obtenir l'exploitation la plus économique qui conduit à la meilleure utilisation de toutes les ressources, des prévisions concernant la consommation et la production ont été faites par des études approfondies, utilisant les méthodes numériques appliquées en ce domaine. Dans ce chapitre on va utiliser la méthode de Newton Raphson pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance.

## IV.2.Exemple de démonstration pour deux jeux de barres :

On peut démontrer d'une façon simple les propriétés fondamentales de l'étude de l'écoulement de puissance par la discussion d'un système à deux jeux de barres qui est montré à la figure (1.1). Un réseau électrique réel ne peut pas être de cette simplicité, mais cela va seulement servir comme objet de démonstration.

Chaque jeu de barres est alimenté d'un générateur. Les générateurs fournissent les énergies  $S_{G1}$  et  $S_{G2}$  aux jeux de barres. Les charges demandées sont prises de chaque jeu de barres à des quantités  $S_{D1}$  et  $S_{D2}$ , les deux jeux de barres sont liés par une ligne de transmission caractérisée par une admittance série  $Y_s$  et une admittance parallèle  $Y_p$ .

Les tensions des jeux de barres sont symbolisées par  $V_1$  et  $V_2$  respectivement. Pour ce réseau les puissances des deux jeux de barres sont :

$$\begin{cases} P_1 + jQ_1 = P_{G1} - P_{D1} + j(Q_{G1} - Q_{D1}) \\ P_2 + jQ_2 = P_{G2} - P_{D2} + j(Q_{G2} - Q_{D2}) \end{cases}$$

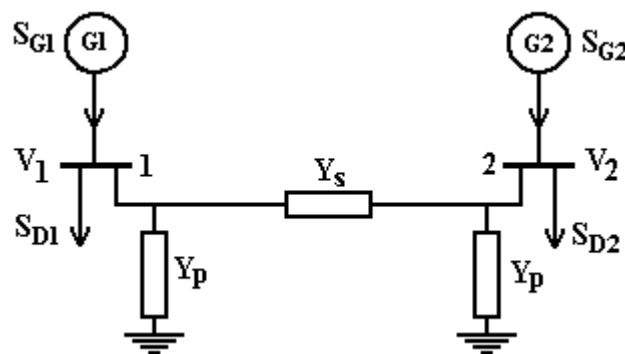


Figure4.1 : Exemple d'un réseau électrique à deux jeux de barres

### IV.3. Les équations de l'écoulement de puissance : [1]

La construction du modèle mathématique duquel on peut prédire la forme (aspect) de l'écoulement de puissance, est essentielle pour la compréhension du mécanisme de l'écoulement de puissance.

Dans la formulation des équations de l'écoulement de puissance l'une des deux matrices (admittance ou impédance est nécessaire).

La puissance apparente  $S_1$  injectée au jeu de barres 1 est donnée par l'équation  $S_1 = V_1 I_1^*$  où  $I_1$  est le courant qui entre dans le jeu de barres 1. Ce courant est composé de deux composantes, une composante  $Y_p V_1$  qui s'écoule à travers l'admittance shunt, et une composante  $(V_1 - V_2)Y_s$  qui s'écoule à travers l'admittance série de la ligne équivalente du réseau. D'après la loi de Kirchhoff appliquée à un jeu de barres nous avons:

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = V_1 Y_p + (V_1 - V_2) Y_s \quad (\text{IV.1})$$

$$I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = V_2 Y_p + (V_2 - V_1) Y_s \quad (\text{IV.2})$$

NB : Les équations (IV.1) et (IV.2) sont données pour une seule phase.

On peut écrire ces deux dernières équations d'une manière plus simple :

$$\begin{cases} I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 \\ I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 \end{cases} \quad (\text{IV.3})$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} Y_{11} = Y_{22} = Y_p + Y_s \\ Y_{12} = Y_{21} = -Y_s \end{cases}$$

Maintenant on va introduire les matrices et les vecteurs suivants :

$$I_{BUS} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \text{ Vecteur de courants des jeux de barres}$$

$$V_{BUS} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \text{ Vecteur de tensions des jeux de barres}$$

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \text{ La matrice admittance du réseau}$$

$$Z_{BUS} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \text{ La matrice impédance du réseau}$$

On peut écrire les équations (IV.3) d'une manière plus simple

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS} \quad (IV.4)$$

$$V_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} \quad (IV.5)$$

Ces équations sont complexes, linéaires. La caractéristique de linéarité assure une simple solution des inconnues. Les courants aux jeux de barres seront calculés par la substitution directe dans (IV.3), et vice versa. Si les courants sont des inconnus, les tensions aux jeux de barres seront calculées d'après (IV.4). Naturellement on a besoin d'inverser la matrice  $Y_{BUS}$ .

En réalité, ce sont les puissances qui seront connues et pas les courants, ce qui change la forme des équations (1.3) à :

$$\begin{cases} S_1^* = P_1 - jQ_1 = (Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2)V_1^* \\ S_2^* = P_2 - jQ_2 = (Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2)V_2^* \end{cases} \quad (IV.6)$$

Ces équations sont les équations de "l'écoulement de puissance" ou "l'écoulement de charge" recherchées.

La solution de ces équations est plus difficile que la solution du system d'équations linéaires (IV.4) et (IV.5), car elles ne sont pas linéaires.

#### IV.4. Equations de l'écoulement de puissances dans les lignes :

Quand la solution itérative des tensions est achevée, on peut calculer l'écoulement de puissance dans les lignes.

Le courant de la branche entre les deux jeux de barres  $i$  et  $k$ , qui a le sens positif de  $i$  vers  $k$  est :

$$I_{ik} = (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i Y_p$$

Avec  $Y_{ik}$  : l'admittance de la ligne

$Y_p$  : L'admittance phase -terre (ou la mise à la terre ou admittance shunt).

$V_i Y_p$  : La contribution du courant au jeu de barres due de la mise à la terre.

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_{ik}$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i^* V_i Y_p \quad (IV.7)$$

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^* (V_k - V_i)Y_{ik} + V_k^* V_k Y_p \quad (IV.8)$$

La perte de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres  $i$  et  $k$  est la somme algébrique de la répartition des puissances déterminées à partir des relations (IV.7) et (IV.8).

### IV.5. Equations de l'écoulement de puissance (sous forme réelle) :

On peut écrire les équations (IV.6) comme suit :

$$S_1^* = P_1 - jQ_1 = V_1^* \sum_{k=1}^2 Y_{1k} V_k, \quad S_2^* = P_2 - jQ_2 = V_2^* \sum_{k=1}^2 Y_{2k} V_k$$

D'une manière plus compacte on à :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^2 Y_{ik} V_k \quad i=1,2 \quad (\text{IV.9})$$

Chaque tension au jeu de barres  $V_i$  a une amplitude  $|V_i|$  et un angle de phase  $\theta_i$  ainsi que chaque élément de la matrice admittance est en général de type complexe donc on peut écrire  $V_i = |V_i| \angle \theta_i$ ,  $Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \gamma_{ij}$

D'ici on peut écrire les équations de l'écoulement de puissance

$$P_i - jQ_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \exp(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{IV.10})$$

Séparons les parties réelles et imaginaires

$$P_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \cos(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{IV.11})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \sin(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{IV.12})$$

$i=1,2$

Pour l'exemple à deux jeux de barres on à :

$$\begin{cases} P_1 = P_{G1} - P_{D1} = |Y_{11}| |V_1|^2 \cos(\gamma_{11}) + |Y_{12}| |V_1| |V_2| \cos(\theta_2 - \theta_1 + \gamma_{12}) = f_{1p} \\ P_2 = P_{G2} - P_{D2} = |Y_{22}| |V_2|^2 \cos(\gamma_{22}) + |Y_{21}| |V_1| |V_2| \cos(\theta_1 - \theta_2 + \gamma_{21}) = f_{2p} \\ Q_1 = Q_{G1} - Q_{D1} = -|Y_{11}| |V_1|^2 \sin(\gamma_{11}) - |Y_{12}| |V_1| |V_2| \sin(\theta_2 - \theta_1 + \gamma_{12}) = f_{1q} \\ Q_2 = Q_{G2} - Q_{D2} = -|Y_{22}| |V_2|^2 \sin(\gamma_{22}) - |Y_{21}| |V_1| |V_2| \sin(\theta_1 - \theta_2 + \gamma_{21}) = f_{2q} \end{cases} \quad (\text{IV.13})$$

### IV.6. Quelques observations sur les équations de l'écoulement de puissance :

Les observations concernant les équations du système (IV.13) sont :

1. Les équations sont algébriques car elles représentent un système qui travaille en régime permanent.

2. Les équations sont non linéaires, donc il est très difficile d'avoir des solutions analytiques, mais on peut obtenir facilement une solution numérique.

3. L'équilibre des puissances actives donne :

$$P_{G1} + P_{G2} = P_{D1} + P_{D2} + f_{1p} + f_{2p}$$

$$P_{G1} + P_{G2} = P_{D1} + P_{D2} + P_L$$

Où  $P_L$  : les pertes de puissances actives

4. De même l'équilibre de la puissance réactive donne :

$$Q_{G1} + Q_{G2} = Q_{D1} + Q_{D2} + f_{1q} + f_{2q}$$

$$Q_{G1} + Q_{G2} = Q_{D1} + Q_{D2} + Q_L$$

Où  $Q_L$  : les pertes de puissances réactives

5.  $f_{1p}, f_{2p}, f_{1q}, f_{2q}$  sont des équations en fonction des tensions

6. Dans les équations du système (IV.13) les angles de phase  $\theta_1, \theta_2$  apparaissent sous forme de différence ( $\theta_1 - \theta_2$ ) et non  $\theta_1$  et  $\theta_2$  séparément.

7. D'après les équations du système (IV.13) on a 12 variables, et par conséquent, il est impossible d'obtenir une solution pour n'importe quelle variable sauf si nous réduisons les nombres des inconnues et ceci par la fixation des valeurs de quelques variables.

### IV.7. Classification des variables de l'écoulement de puissance : [7]

La dernière observation nous permet de remarquer une des plus importantes spécifications du problème. Donc il est impératif d'introduire un certain ordre sur les variables pour cette raison on les partage en groupe naturelle suivant :

#### IV.7.1. Les variables de perturbation ou non contrôlables :

Parmi les douze variables des équations de l'écoulement de puissance, les variables de la demande  $P_{D1}, P_{D2}, Q_{D1}, Q_{D2}$  ne sont pas contrôlables car elles dépendent seulement des utilisateurs de la puissance. Les variables de perturbation avec cette définition constituent les composantes du vecteur de perturbation P.

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{bmatrix} \quad (\text{IV.14})$$

#### IV.7.2. Les variables de contrôle et d'état :

Les huit variables  $|V_1|, |V_2|, \theta_1, \theta_2, P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$  peuvent facilement être groupées en deux groupes, les variables de "contrôles" et variables "d'état".

✓ Les variables  $|V_1|, |V_2|, \theta_1, \theta_2$  sont définies comme variables d'état. Pour utiliser la notation connue dans la théorie de contrôle ces variables doivent être représentées par les variables  $X_1, \dots, X_4$

✓ Les variables  $P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$  sont des variables de contrôle, et qu'on préfère le symboliser par  $U_1, \dots, U_4$ , donc nous aurons:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ |V_1| \\ |V_2| \end{bmatrix} \quad X : \text{vecteur d'état} \quad (IV.15)$$

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ Q_{G1} \\ Q_{G2} \end{bmatrix} \quad U : \text{vecteur de contrôle} \quad (IV.16)$$

#### IV.8. Classification des jeux de barres selon leurs spécifications :

On peut grouper les jeux de barres en trois catégories, en fonction des spécifications des variables utilisées :

1. Jeu de barres de référence
2. Jeu de barres de charge
3. Jeu de barres générateur (à tension contrôlée)

Notons que dans un réseau électrique, les jeux de barres de charge forment de 80 à 90% de la totalité des jeux de barres.

#### IV.9. Généralisation à un système de $n$ jeux de barres :

Les réseaux électriques réels peuvent contenir des centaines de jeux de barres, de générateurs et de milliers de branches, donc pour un système de  $n$  jeux de barres on aura :

- ✓  $n$  variables :  $|V_i|$  (module de la tension de jeu de barres  $i$ )
- ✓  $n$  variables :  $\theta_i$  (angle de phase de la tension du jeu de barres  $i$ )
- ✓  $n$  variables :  $P_{Gi}$  (puissance active injectée au jeu de barres  $i$ )
- ✓  $n$  variables :  $Q_{Gi}$  (puissance réactive injectée au jeu de barres  $i$ )
- ✓  $n$  variables :  $P_{Di}$  (puissance active demandée au jeu de barres  $i$ )

✓  $n$  variables :  $Q_{Di}$  (puissance réactive demandée au jeu de barres  $i$ )

Avec  $i=1,2,\dots, n$ . Donc nous avons en tout  $6n$  inconnues

### IV.10. Forme générale des équations de l'écoulement de puissance :

Dans le cas générale, pour déterminer les équations de l'écoulement de puissance on considère que les puissances sont équilibrées au jeu de barres  $i$ , donc la puissance de jeu de barres sera égale :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = P_{Gi} - P_{Di} + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \tag{IV.17}$$

Les lignes de transmission connectent le jeu de barres  $i$  aux autres jeux de barres  $k$  dans le réseau électrique.

Les points de connexion des branches des réseaux sont codés par des numéros désignant chaque jeu de barres. Ces nombres spécifient les arrivées des lignes de transmission et des transformateurs. Les numéros sont utilisés pour identifier les types de jeux de barres, l'emplacement des éléments du réseau (condensateurs, inductances shunts, et impédances).

Un jeu de barres peut être connecté au maximum à  $(n-1)$  jeux de barres. On peut représenter chacune de ces lignes par un schéma équivalent avec une admittance série  $Y_{Sik}$  et une admittance parallèle  $Y_{pik}$ . Si une ligne n'existe pas l'admittance sera égal à zéro. Par analogie, par les équations (IV.1) et (IV 1.2) on tire l'équation du courant:

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = V_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{pik} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{Sik} \cdot (V_i - V_k) = V_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (Y_{pik} + Y_{Sik}) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (-Y_{Sik}) V_k \quad i=1,\dots, n$$

On peut écrire les équations sous la forme suivante :

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{ii} V_i + \dots + Y_{in} V_n$$

Où  $Y_{ii} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (Y_{pik} + Y_{Sik})$  et  $Y_{ik} = Y_{ki} = -Y_{Sik}$

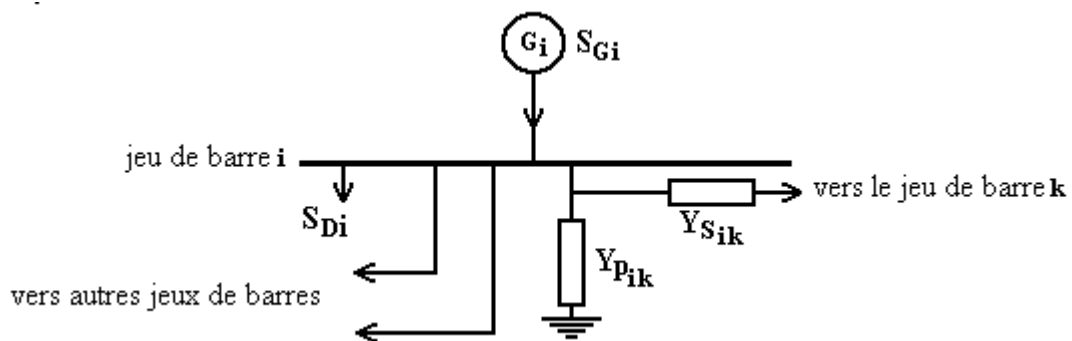


Figure4.2 : jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission

Les vecteurs courant et tension sont d'ordre  $(n \times 1)$  :

$$I_{Bus} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} \quad V_{Bus} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix}$$

Et les matrices d'admittance et d'impédance sont d'ordre  $(n \times n)$  :

$$Y_{Bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdot & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdot & Y_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdot & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad Z_{Bus} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdot & \cdot & Y_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{n1} & \cdot & \cdot & Z_{nn} \end{bmatrix}$$

Du fait que les puissances sont connues et les courants sont inconnus, donc les équations prendront des formes non linéaires :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \quad i=1,2,\dots,n \quad (IV.18)$$

Séparons la partie réelle et imaginaire de l'équation (IV.18) on aura :

$$P_i = \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \cos(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) = f_{ip} \quad (IV.19)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \sin(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) = f_{iq} \quad (IV.20)$$

Ces équations expriment l'équilibre des puissances actives et réactives au jeu de barres  $i$

A cause de non linéarité des équations de l'écoulement de puissance, il est très difficile d'avoir des solutions analytiques. Pour cette raison, plusieurs méthodes numériques ont été proposées pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance, parmi les quelles on va discuter la méthode de Newton Raphson.

## IV.11. La technique itérative de Newton Raphson : [8]

La technique itérative de Newton Raphson converge avec une même vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts systèmes, en moins de quatre à cinq itérations en général. C'est pour cette raison que la méthode de N-R est le plus utilisé pour l'étude des larges systèmes.



$$f_n(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = 0$$

On peut écrire le système de  $n$  équations linéaires comme suit :

$$\begin{bmatrix} f_1(x^{(0)}) \\ f_2(x^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)_0 \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)_0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)_0 & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.21})$$

Les termes  $\left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)_0, \dots, \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)_0$  correspondent à la dérivée partielle évaluée avec les valeurs  $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ .

Ou dans une notation compacte :  $f(x^{(0)}) + j^{(0)} \Delta x^{(0)} \approx 0$

La matrice carrée dite Jacobienne :  $[J^{(0)}]$

De cette dernière équation on tire ensuite le vecteur erreur  $\Delta x^{(0)} = -[j^{(0)}]^{-1} f(x^{(0)})$

Mais  $\Delta x^{(0)} = x^{(1)} - x^{(0)}$  donc  $x^{(1)} = x^{(0)} - [j^{(0)}]^{-1} f(x^{(0)})$

En général :  $x^{(k+1)} = x^{(k)} - [j^{(k)}]^{-1} f(x^{(k)})$

### IV.11.3. Arrêt des opérations :

On a vu que théoriquement la solution n'est atteinte qu'après une infinité d'itérations. En pratique, on arrête les opérations pour l'un des tests suivants:

1. Si  $f(x^{(k)})$  est quasiment nulle.
2. Si l'amélioration de  $x^{(k)}$  d'une itération à la suivante ne justifie pas l'effort de calcul supplémentaire.
3. Si la convergence n'est pas obtenue avant un nombre d'itération fixe. Le processus est considéré comme non convergent pour l'estimation initiale  $(x^{(0)})$  donnée.

### IV.11.4. Algorithme de N-R appliquée aux équations de l'écoulement de puissance :

Le problème de l'écoulement de puissance peut être résolu par la méthode de N-R, qui utilise des équations non linéaires pour exprimer les puissances actives et réactives en

fonction des tensions. Le problème peut être résolu en utilisant soit les coordonnées rectangulaires soit les coordonnées polaires.

#### IV.11.4.1. Les coordonnées rectangulaires :

La puissance au niveau de jeu de barres est donnée par :  $P_i - jQ_i = V_i^* I_i$  (IV.22)

Puisque l'équation de performance du réseau est donnée par :

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS}$$

(1.23)

$$\text{Donc: } P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (\text{IV.24})$$

On remplace:  $V_i = e_i + jf_i$  et  $Y_{ij} = G_{ij} - jB_{ij}$  dans l'équation (1.24)

$$P_i - jQ_i = (e_i - jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j + jf_j) \quad (\text{IV.25})$$

Séparons les pertes réelles et imaginaires, on aura :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n (e_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i (f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \\ Q_i = \sum_{j=1}^n (f_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i (f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \end{cases} \quad (\text{IV.26})$$

Cette formulation conduit à un système d'équations instantanées non linéaires, deux pour chaque jeu de barres du système. Les puissances actives et réactives  $P_i$  et  $Q_i$  sont connues et les composantes réelles et imaginaires  $e_i$  et  $f_i$  sont des inconnues pour tout les jeux de barres sauf le jeu de barres de référence, ou la tension est spécifiée et reste constante. De cette façon nous aurons  $2(n-1)$  équations à résoudre pour une solution de l'écoulement de puissance.

La méthode de N-R demande un système d'équations non linéaires exprimant la relation entre les variations des puissances actives et réactives et les composantes des tensions aux niveaux des jeux de barres comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \\ \dots \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \\ \dots & & \dots & \vdots & \dots & & \dots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta e_{n-1} \\ \dots \\ \Delta f_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta f_{n-1} \end{bmatrix} \quad (IV.27)$$

Ou d'une manière plus simple on aura :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \dots & \vdots & \dots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e \\ \dots \\ \Delta f \end{bmatrix}$$

Les équations qui permettent de déterminer les éléments de la matrice Jacobienne peuvent être dérivées des équations des puissances aux jeux de barres. A partir de l'équation du système (IV.26) la puissance active est donnée par :

$$P_i = e_i(e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) + f_i(f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \quad (IV.28)$$

$i=1,2,\dots, (n-1)$

Les éléments non diagonales de  $j_1$  sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_j} = e_i G_{ij} - f_i B_{ij} \quad i \neq j \quad (IV.29)$$

Et les éléments diagonales de  $j_1$  sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = 2e_i G_{ii} + f_i B_{ii} - f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (IV.30)$$

Cependant, l'équation du courant pour le jeu de barres  $i$  est :

$$I_i = c_i + jd_i = (G_{ii} - jB_{ii})(e_i + jf_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j + jf_j)$$

Qui peut être séparé en parties réelle et imaginaire :

$$\begin{cases} c_i = e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \\ d_i = f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \end{cases} \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{IV.31})$$

Donc, les expressions des éléments de la diagonale peuvent être simplifiées par la substitution de la composante réelle du courant  $c_i$  dans l'équation (IV.30) pour obtenir :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = e_i G_{ii} - f_i B_{ii} + c_i \quad (\text{IV.32})$$

De (1.27), les éléments non diagonales de  $j_2$  sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{IV.33})$$

Et les éléments diagonales de  $j_2$  sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + 2f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (\text{IV.34})$$

La composante imaginaire du courant de l'équation (IV.30) est substituée dans (IV.31) pour

$$\text{obtenir : } \frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + f_i G_{ii} + d_i \quad (\text{IV.35})$$

La puissance réactive de l'équation du système (IV.26) est :

$$Q_i = f_i (e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) - e_i (f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i (f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \quad (\text{IV.36})$$

Les éléments non diagonales de  $j_3$  sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{IV.37})$$

Les éléments diagonales de  $j_3$  sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i G_{ii} - f_i G_{ii} + 2e_i B_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (\text{IV.38})$$

La composante imaginaire du courant de l'équation du système (IV.31) est substituée dans l'équation (1.38) pour obtenir :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i G_{ii} e_i B_{ii} + f_i G_{ii} - d_i \quad (\text{IV.39})$$

De l'équation (IV.36), les éléments non diagonales de  $j_4$  sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_j} = -e_i G_{ij} + f_i B_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{IV.40})$$

Les éléments diagonales de  $j_4$  sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = e_i G_{ii} + 2f_i B_{ii} - e_i G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (\text{IV.41})$$

La composante réelle du courant est substituée dans le système d'équation (IV.31) pour obtenir :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = -e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + c_i \quad (1.42)$$

Pour une estimation donnée des tensions aux jeux de barres, Les puissances actives et réactives sont calculées à partir des équations du système (IV.26). Les écarts dans la puissance sont les différences entre les valeurs estimées et calculées.

$$\begin{aligned} \Delta P_i^{(k)} &= P_i - P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} &= Q_i - Q_i^{(k)} \end{aligned} \quad i=1,2, \dots, n-1 \quad (\text{IV.43})$$

Les tensions estimées aux jeux de barres et les puissances calculées sont utilisées pour calculer les courants aux jeux de barres par ordre pour calculer les éléments du Jacobien. Le système d'équations linéaires (IV.27) peut être résolue pour  $\Delta e_i$  et  $\Delta f_i$ ,  $i=1,2,\dots, n$ , par une méthode directe ou itérative. En suite les nouvelles estimations des tensions aux jeux de

$$\begin{aligned} \text{barres sont :} \quad e_i^{(k+1)} &= e_i^{(k)} + \Delta e_i^{(k)} \\ f_i^{(k+1)} &= f_i^{(k)} + \Delta f_i^{(k)} \end{aligned}$$

Le processus est répété jusqu'à ce que  $\Delta P_i^{(k)}$  et  $\Delta Q_i^{(k)}$ , soient inférieure à la tolérance spécifiée.

### III.11.4.2. Les coordonnées polaires :

En coordonnées polaires on à :  $V_i = |V_i| \exp(j\theta_i)$  et  $Y_{ij} = |Y_{ij}| \exp(-j\gamma_{ij})$

Remplaçons dans l'équation (IV.24), la puissance au jeu de barres  $i$  est :

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \exp(-j(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j))$$

Sachant que :  $\exp(-j(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j)) = \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) - j \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j)$

Les composantes actives et réactives de la puissance sont :

$$\begin{aligned} P_i &= \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \\ Q_i &= \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned} \quad (\text{IV.44})$$

Les éléments de la matrice Jacobienne qui sont calculées à partir des équations du système (IV.44) sont :

$$\begin{aligned} \text{Pour } j_1 : \quad \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} &= |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i \\ \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} &= -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned} \quad \text{(IV.45)}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour } j_2 : \quad \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} &= |V_i Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i \\ \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} &= 2|V_i Y_{ii}| \cos(\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned} \quad \text{(IV.46)}$$

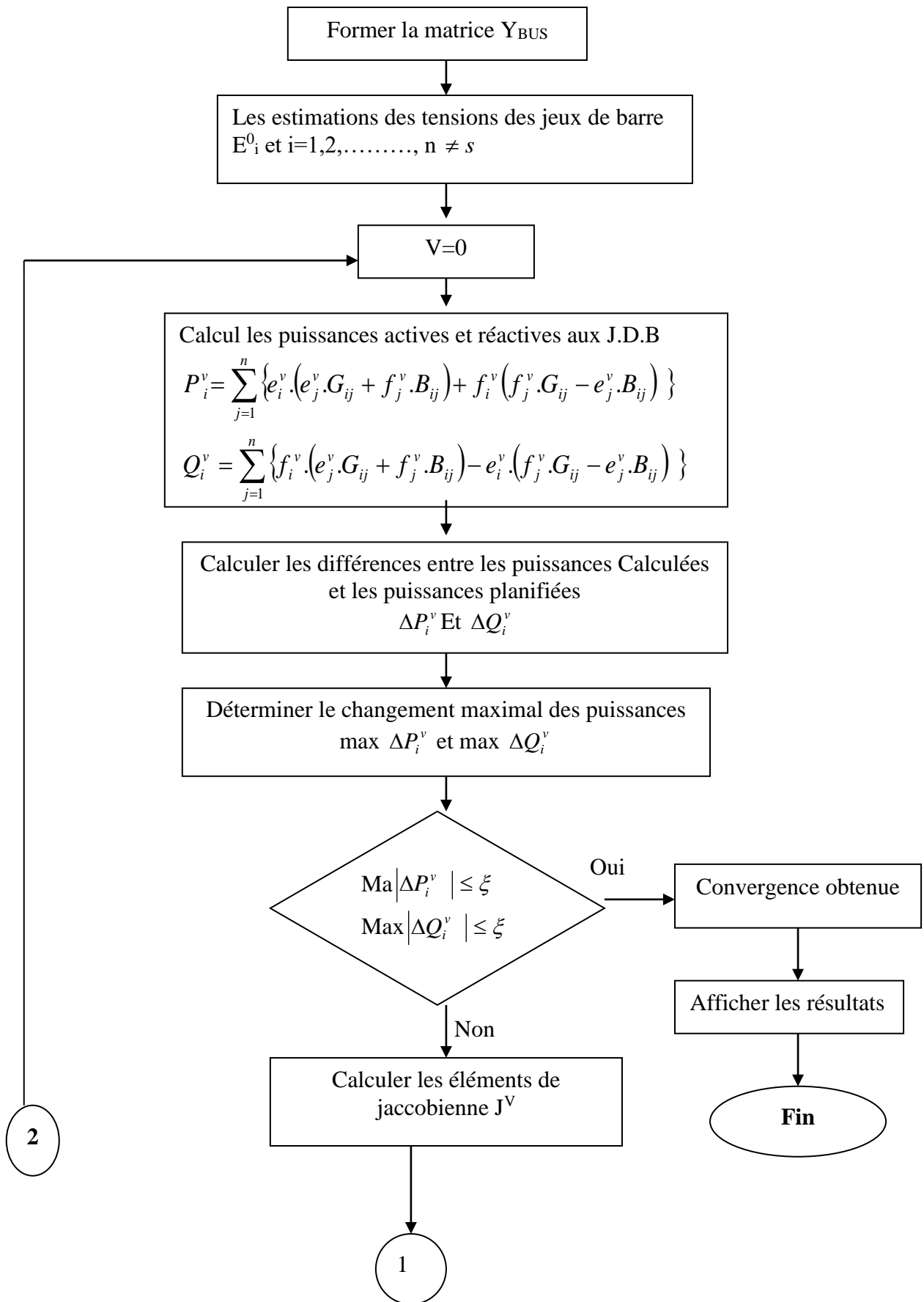
$$\begin{aligned} \text{Pour } j_3 : \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} &= -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} &= \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned} \quad \text{(IV.47)}$$

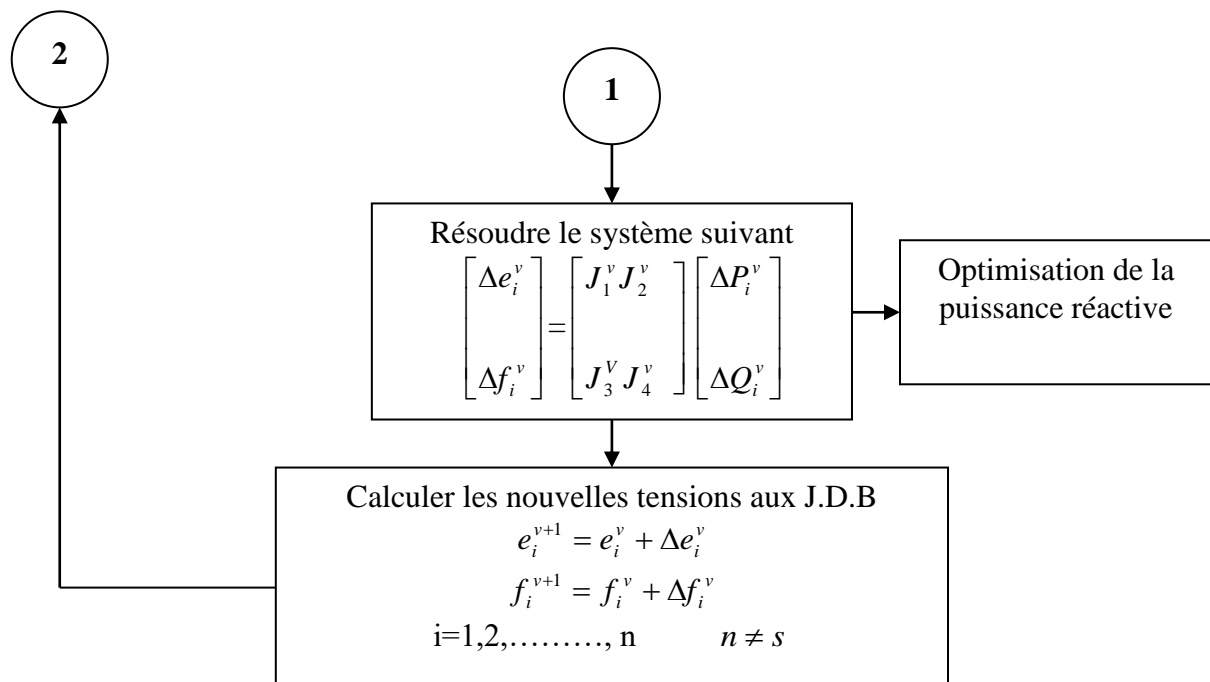
$$\begin{aligned} \text{Pour } j_4 : \quad \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} &= |V_i Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i \\ \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} &= 2|V_i Y_{ii}| \sin(\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned} \quad \text{(IV.48)}$$

L'équation liant les variations des puissances aux variations des amplitudes de la tension et les angles de phase pour la méthode de N-R est donnée par :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \dots & \vdots & \dots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \dots \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

IV.12.organigramme :





*Fig.4.4.Organigramme de calcul la compensation en utilise la méthode de N.R*

### III.13.Conclusion :

L'analyse de l'écoulement de puissance s'occupe, non seulement des mécanismes physiques actuels qui contrôlent l'écoulement de la puissance dans les mailles des réseaux électriques, mais aussi de la meilleure sélection de la configuration de l'écoulement parmi l'ensemble des configurations possibles.

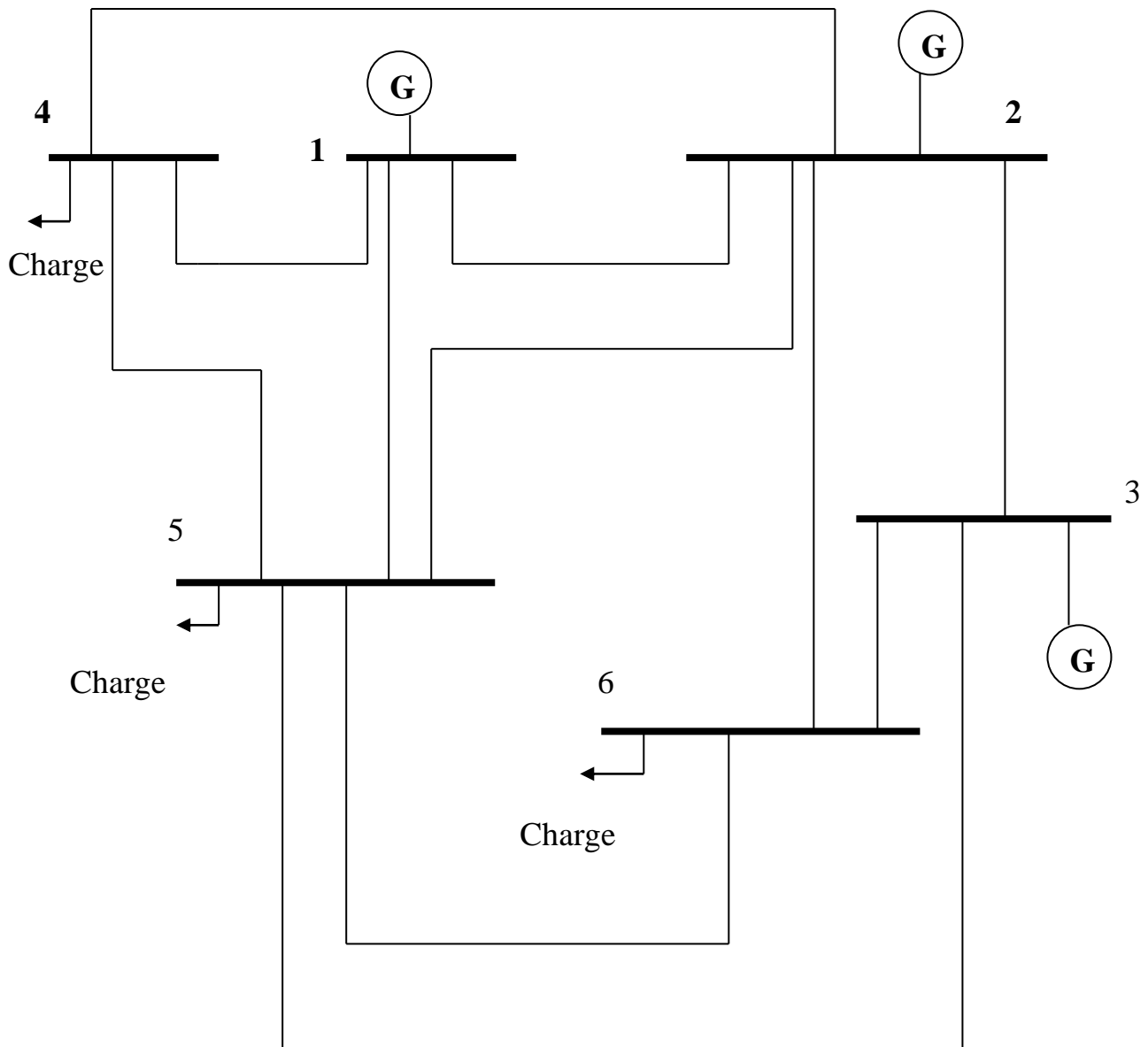
**V.1. Compensateur statique :****Exemple :**

Fig.5.1. Schéma de 6 jeux de barre.

**Données initiales :**

Nombre de branche : 11

Nombre de jeux de barre : 6

Puissance de base : 100

Nombre d'itération : 50

Tolérance de tension : 0.00001

-5-1-1: Les données des lignes :

Du nœud au nœud		Résistance	Réactance	Susceptance
1	2	0.10000	0.20000	0.02000
1	4	0.05000	0.20000	0.02000
1	5	0.08000	0.30000	0.03000
2	3	0.05000	0.25000	0.03000
2	4	0.05000	0.10000	0.01000
2	5	0.10000	0.30000	0.02000
2	6	0.07000	0.20000	0.02500
3	5	0.12000	0.26000	0.02500
3	6	0.02000	0.10000	0.01000
4	5	0.20000	0.40000	0.04000
5	6	0.10000	0.30000	0.03000

-5-1-2: Les données de j.d.b :

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)	Nature de JDB
1	1.050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
2	1.050	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	2
3	1.070	0.00	0.00	0.00	60.00	0.00	2
4	1.000	0.00	70.00	70.00	0.00	0.00	3
5	1.000	0.00	70.00	70.00	0.00	0.00	3
6	1.000	0.00	70.00	70.00	0.00	0.00	3

**V.2. Test de programme :****V.2.1. Sans compensation :****-- 1<sup>er</sup> itération :****5-2-1-1: TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	10.53332	33.32656
2	1.050	-3.53134	0.00	0.00	50.00	61.48213
3	1.070	-4.10980	0.00	0.00	60.00	96.55693
4	0.99057	-4.09099	70.00	70.00	0.00	0.00
5	0.98716	-5.13996	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.00532	5.79911	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-1-2: PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

Du jeu de barre au jeu de barre		P (IJ)	Q (IJ)	P (JI)	Q (JI)	PL	QL
1	2	0	-2.20500	0	-2.20500	0	-4.41000
1	4	6.17647	22.50088	-5.88235	-25.49188	0.29412	-2.99100
1	5	4.35685	13.03067	-4.14938	-18.48359	0.20747	-5.45292
2	3	-1.61538	-11.38442	1.64615	4.79607	0.03077	-6.58835
2	4	21.00000	40.89750	-20.00000	-40.98124	1.00000	-0.08374
2	5	5.25000	13.54500	-5.00000	-16.94895	0.25000	-3.40395
2	6	8.18486	20.62905	-7.79510	-24.79837	0.38976	-4.16932
3	5	10.96098	20.88653	-10.24390	-24.63131	0.71707	-3.74478
3	6	14.40385	70.87433	-13.46154	-68.31835	0.94231	2.55598
4	5	0	-3.92495	0	-3.89790	0	-7.82285
5	6	0	-2.92343	0	-3.03198	0	-5.95541

- La puissance active générée totale : 120.5333 MW
- La puissance réactive générée totale : 191.3656 MVAR
- La puissance active demandée totale : 210 MW
- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR
- Les pertes actives totales : 3.8315 MW
- Les pertes réactives totales : -42.0663 MVAR
- Le facteur de puissance : 0.5330

**- 2<sup>ème</sup> itération :**

**5-2-1-3 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	104.87319	15.54563
2	1.050	-3.67084	0.00	0.00	50.00000	71.57336
3	1.070	-4.27288	0.00	0.00	60.00000	87.96597
4	0.98938	-4.19560	70.00	70.00	0.00	0.00
5	0.98545	-5.27608	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.00443	5.94710	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-1-4 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>		<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>27.58181</b>	<b>-14.94922</b>	<b>-26.74446</b>	<b>12.21391</b>	<b>0.83734</b>	<b>-2.73531</b>
<b>1</b>	<b>4</b>	<b>42.57104</b>	<b>19.67612</b>	<b>-41.53200</b>	<b>-19.68270</b>	<b>1.03904</b>	<b>-0.00658</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>34.72035</b>	<b>10.81873</b>	<b>-33.70081</b>	<b>-13.21628</b>	<b>1.01954</b>	<b>-2.39755</b>
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2.75166</b>	<b>-12.23493</b>	<b>-2.71208</b>	<b>5.69062</b>	<b>0.03958</b>	<b>-6.54431</b>
<b>2</b>	<b>4</b>	<b>33.10637</b>	<b>44.79153</b>	<b>-31.65409</b>	<b>-43.96832</b>	<b>1.45229</b>	<b>0.82321</b>
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>15.36867</b>	<b>14.80393</b>	<b>-14.89202</b>	<b>-17.52122</b>	<b>0.47664</b>	<b>-2.71729</b>
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>26.04890</b>	<b>11.99892</b>	<b>-25.47985</b>	<b>-15.65148</b>	<b>0.56905</b>	<b>-3.65256</b>
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>19.01848</b>	<b>22.51944</b>	<b>-17.96414</b>	<b>-25.52505</b>	<b>1.05435</b>	<b>-3.00561</b>
<b>3</b>	<b>6</b>	<b>43.89114</b>	<b>59.75591</b>	<b>-42.90671</b>	<b>-56.98755</b>	<b>0.98442</b>	<b>2.76835</b>
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>3.93530</b>	<b>-4.99558</b>	<b>-3.90135</b>	<b>-2.73643</b>	<b>0.03394</b>	<b>-7.73200</b>
<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1.63881</b>	<b>-9.41364</b>	<b>-1.59269</b>	<b>3.61204</b>	<b>0.04612</b>	<b>-5.80160</b>

- La puissance active générée totale : 214.8732 MW

- La puissance réactive générée totale : 175.0850 MVAR

- La puissance active demandée totale : 210 MW

- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR

- Les pertes actives totales : 7.5523 MW

- Les pertes réactives totales : -31.0012 MVAR

- Le facteur de puissance : 0.7752

- 3<sup>ème</sup> itération :

**5-2-1-5 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	107.86880	15.95540
2	1.050	-3.67116	0.00	0.00	50.00	74.35069
3	1.070	-4.27327	0.00	0.00	60.00	89.62371
4	0.98937	-4.19582	70.00	70.00	0.00	0.00
5	0.98544	-5.27639	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.00443	-5.94745	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-1-6 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>		<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
1	2	28.68715	-15.41759	-27.78237	12.81716	0.90478	-2.60043
1	4	43.58279	20.11927	-42.49533	-19.93218	1.08745	0.18709
1	5	35.59886	11.25373	-34.52544	-13.44921	1.07342	-2.19548
2	3	2.92983	-12.26866	-2.88952	5.72801	0.04031	-6.54064
2	4	33.09131	46.05135	-	-45.12271	1.50500	0.92864
2	5	15.51419	15.35191	15.01629	-18.00541	0.49790	-2.65350
2	6	26.24843	12.39892	-25.66516	-16.01085	0.58328	-3.61192
3	5	19.11666	23.17294	-18.02317	-26.09373	1.09349	-2.92078
3	6	43.77341	60.72275	-42.77006	57.85973	1.00336	2.86302
4	5	4.08282	-4.94229	-4.04661	-2.78513	0.03621	-7.72741
5	6	1.61419	-9.66265	-1.56460	3.87151	0.04959	-5.79114

- La puissance active générée totale : 217.8688 MW
- La puissance réactive générée totale : 179.9298 MVAR
- La puissance active demandée totale : 210 MW
- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR
- Les pertes actives totales : 7.8748 MW
- Les pertes réactives totales : -30.0626 MVAR
- Le facteur de puissance : 0.7710

**4<sup>ème</sup> itération :****5-2-1-7 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

<i>N° de jeu de barre</i>	<i>Module</i>	<i>Argument</i>	<i>PG (MW)</i>	<i>QG (MVAR)</i>	<i>PD (MW)</i>	<i>QD (MVAR)</i>
<b>1</b>	<b>1.05000</b>	<b>0</b>	<b>107.87550</b>	<b>15.95621</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2</b>	<b>1.05000</b>	<b>-3.67116</b>	<b>50.00000</b>	<b>74.35648</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>3</b>	<b>1.07000</b>	<b>-4.27327</b>	<b>60.00000</b>	<b>89.62677</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>4</b>	<b>0.98937</b>	<b>-4.19582</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70.00000</b>	<b>70.00000</b>
<b>5</b>	<b>0.98544</b>	<b>-5.27639</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70.00000</b>	<b>70.00000</b>
<b>6</b>	<b>1.00443</b>	<b>-5.94745</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70.00000</b>	<b>70.00000</b>

**5-2-1-8 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>		<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
1	2	28.68968	-15.41866	-27.78474	12.81855	0.90494	-2.60012
1	4	43.58495	20.12015	-42.49739	-19.93264	1.08756	0.18751
1	5	35.60087	11.25472	-34.52732	-13.44973	1.07355	-2.19501
2	3	2.93032	-12.26875	-2.89001	5.72812	0.04031	-6.54063
2	4	33.09095	46.05407	31.58584	-45.12522	1.50510	0.92885
2	5	15.51453	15.35315	-15.01658	-18.00651	0.49795	-2.65335
2	6	26.24894	12.39946	-25.66564	-16.01130	0.58330	-3.61184
3	5	19.11682	23.17446	-18.02325	-26.09504	1.09358	-2.92059
3	6	43.77318	60.72420	-42.76980	-57.86105	1.00338	2.86315
4	5	4.08324	-4.94213	-4.04702	-2.78527	0.03622	-7.72740
5	6	1.61416	-9.66345	-1.56456	3.87235	0.04960	-5.79110

- La puissance active générée totale : 217.8755 MW

- La puissance réactive générée totale : 179.9395 MVAR

- La puissance active demandée totale : 210 MW

- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR

- Les pertes actives totales : 7.8755 MW

- Les pertes réactives totales : -30.0605 MVAR

- Le facteur de puissance : 0.7710

**Interprétation :**

D'après ces résultats, on remarque que les tensions au niveau des jeux de barres de charges, telle que ( $V_4, V_5$ ) sortent de la limite inférieure imposé (1.000), ce qui se traduit par une chute de tension au niveau de ces dernières.

Il est nécessaire de les compensés par l'injection d'une puissance réactive, afin de les ramener dans les limites désirés

**V.2.2. Avec compensation :****-- 1<sup>er</sup> itération :****5-2-2-1 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	10.53332	33.32656
2	1.050	-2.99474	0.00	0.00	50.00	61.48213
3	1.070	-3.41704	0.00	0.00	60.00	96.55693
4	1.01460	-4.12602	70.00	70.00	0.00	0.00
5	0.98716	-6.93338	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.00532	-5.50029	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-2-2 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>		<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>-2.20500</b>	<b>0</b>	<b>-2.20500</b>	<b>0</b>	<b>-4.41000</b>
<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6.17647</b>	<b>22.50088</b>	<b>-5.88235</b>	<b>-25.58825</b>	<b>0.29412</b>	<b>-3.08737</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4.35685</b>	<b>13.03067</b>	<b>-4.14938</b>	<b>-19.21599</b>	<b>0.20747</b>	<b>-6.18532</b>
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>-1.61538</b>	<b>-11.38442</b>	<b>1.64615</b>	<b>4.79607</b>	<b>0.03077</b>	<b>-6.58835</b>
<b>2</b>	<b>4</b>	<b>21.00000</b>	<b>40.89750</b>	<b>-20.00000</b>	<b>-41.02942</b>	<b>1.00000</b>	<b>-0.13192</b>
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5.25000</b>	<b>13.54500</b>	<b>-5.00000</b>	<b>-17.43722</b>	<b>0.25000</b>	<b>-3.89222</b>
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>8.18486</b>	<b>20.62905</b>	<b>-7.79510</b>	<b>-24.91428</b>	<b>0.38976</b>	<b>-4.28523</b>
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10.96098</b>	<b>20.88653</b>	<b>-10.24390</b>	<b>-25.24165</b>	<b>0.71707</b>	<b>-4.35512</b>
<b>3</b>	<b>6</b>	<b>14.40385</b>	<b>70.87433</b>	<b>-13.46154</b>	<b>-68.36472</b>	<b>0.94231</b>	<b>2.50961</b>
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>-4.11768</b>	<b>0</b>	<b>-4.87444</b>	<b>0</b>	<b>-8.99212</b>
<b>5</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>-3.65583</b>	<b>0</b>	<b>-3.17108</b>	<b>0</b>	<b>-6.82691</b>

- La puissance active générée totale : 120.5333 MW

- La puissance réactive générée totale : 191.3656 MVAR

- La puissance active demandée totale : 210 MW

- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR

- Les pertes actives totales : 3.8315 MW

- Les pertes réactives totales : -46.2449 MVAR

- Le facteur de puissance : 0.5330

-- 2<sup>ème</sup> itération :

**5-2-2-3 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	103.65951	-35.45198
2	1.050	-3.27750	0.00	0.00	50.00	-7.45465
3	1.070	-3.76813	0.00	0.00	60.00	16.19638
4	1.01170	-4.27751	70.00	70.00	0.00	0.00
5	1.09063	-6.78776	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.02459	-5.73268	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-2-4 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

Du jeu de barre au jeu de barre		P (IJ)	Q (IJ)	P (JI)	Q (JI)	PL	QL
1	2	23.34084	-13.12260	-22.73858	9.91711	0.60226	-3.20549
1	4	40.76854	7.56667	-39.97146	-8.63041	0.79708	-1.06374
1	5	39.55013	-29.89605	-37.90212	29.20018	1.64801	-0.69587
2	3	1.57186	-12.00966	-1.53639	5.44479	0.03546	-6.56488
2	4	31.77629	20.38350	-31.10900	-21.17495	0.66729	-0.79144
2	5	18.49855	-26.32594	-17.66044	24.25633	0.83811	-2.06961
2	6	24.76420	0.58034	-24.36775	-4.82834	0.39644	-4.24800
3	5	17.98672	-24.26237	-17.16762	20.20115	0.81910	-4.06121
3	6	47.20975	34.95396	-46.59277	-34.06375	0.61698	0.89021
4	5	2.04504	-27.43241	-0.97869	20.71311	1.06634	-6.71930
5	6	-0.11348	24.47556	0.75887	-29.25713	0.64539	-4.78157

- La puissance active générée totale : 213.6595 MW
- La puissance réactive générée totale : -26.7702 MVAR
- La puissance active demandée totale : 210 MW
- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR
- Les pertes actives totales : 8.1325 MW
- Les pertes réactives totales : -33.3109 MVAR
- Le facteur de puissance : 0.9922

**-- 3<sup>ème</sup> itération :**

**5-2-2-6 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	107.18609	-30.61475
2	1.050	-3.28412	0.00	0.00	50.00	3.81625
3	1.070	-3.77718	0.00	0.00	60.00	26.17998
4	1.01166	-4.28201	70.00	70.00	0.00	0.00
5	1.09043	-6.78906	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.02454	-5.74064	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-2-7 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>		<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
1	2	25.57350	-14.09009	-24.85217	11.12274	0.72132	-2.96735
1	4	42.36579	8.79292	-41.49694	-9.56943	0.86885	-0.77651
1	5	39.24680	-25.31757	-37.77759	23.95250	1.46921	-1.36507
2	3	2.08801	-12.10863	-2.05090	5.55196	0.03711	-6.55667
2	4	30.98426	23.78691	-30.26793	-24.48021	0.71633	-0.69330
2	5	16.98339	-21.36978	-16.38863	18.57100	0.59476	-2.79879
2	6	24.84227	2.38501	-24.43365	-6.59797	0.40862	-4.21297
3	5	16.49875	-18.34310	-15.96225	13.67068	0.53650	-4.67242
3	6	45.60585	38.97112	-44.96140	-37.94342	0.64446	1.02770
4	5	1.78552	-24.68582	-0.95073	17.50544	0.83480	-7.18038
5	6	1.04884	20.15548	-0.57480	-25.44948	0.47404	-5.29400

- La puissance active générée totale : 217.1861 MW
- La puissance réactive générée totale : -0.6185 MVAR
- La puissance active demandée totale : 210 MW
- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR
- Les pertes actives totales : 7.3060 MW
- Les pertes réactives totales : -35.4898 MVAR
- Le facteur de puissance : 1.0000

-- 4<sup>ème</sup> itération :

5-2-2-8 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	107.29905	-30.56124
2	1.050	-3.28412	0.00	0.00	50.00	3.97791
3	1.070	-3.77718	0.00	0.00	60.00	26.32739
4	1.01166	-4.28201	70.00	70.00	0.00	0.00
5	1.09043	-6.78906	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.02454	-5.74064	70.00	70.00	0.00	0.00

5-2-2-9 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE

Du jeu de barre au jeu de barre		P (IJ)	Q (IJ)	P (JI)	Q (JI)	PL	QL
1	2	25.62579	-14.11260	-24.90155	11.15107	0.72424	-2.96152
1	4	42.40863	8.80343	-41.53803	-9.57294	0.87060	-0.76951
1	5	39.26463	-25.25208	-37.79649	23.88298	1.46814	-1.36909
2	3	2.10636	-12.11213	-2.06919	5.55578	0.03717	-6.55635
2	4	30.96657	23.83138	-30.24973	-24.52366	0.71684	-0.69228
2	5	16.96797	21.29722	-16.37620	18.48946	0.59177	-2.80776
2	6	24.86066	2.40481	-24.45133	-6.61575	0.40933	-4.21094
3	5	16.47519	-18.25356	-15.94240	13.57310	0.53279	-4.68046
3	6	45.59402	39.02517	-44.94899	-37.99462	0.64503	1.03055
4	5	1.78777	-24.64536	-0.95615	17.45862	0.83162	-7.18674
5	6	1.07125	20.08823	-0.59967	-25.38963	0.47158	-5.30140

- La puissance active générée totale : 217.2991 MW
- La puissance réactive générée totale : -0.2559 MVAR
- La puissance active demandée totale : 210 MW
- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR
- Les pertes actives totales : 7.2991 MW
- Les pertes réactives totales : -35.5055 MVAR
- Le facteur de puissance : 1.000

**-- 5<sup>ème</sup> itération :**

**5-2-2-10 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B.**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)
1	1.050	0.00	0.00	0.00	107.29908	-30.56123
2	1.050	-3.28412	0.00	0.00	50.00	3.97794
3	1.070	-3.77718	0.00	0.00	60.00	26.32742
4	1.01166	-4.28201	70.00	70.00	0.00	0.00
5	1.09043	-6.78906	70.00	70.00	0.00	0.00
6	1.02454	-5.74064	70.00	70.00	0.00	0.00

**5-2-2-11: PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE**

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>		<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>25.62581</b>	<b>-14.11260</b>	<b>-24.90157</b>	<b>11.15108</b>	<b>0.72424</b>	<b>-2.96152</b>
<b>1</b>	<b>4</b>	<b>42.40864</b>	<b>8.80343</b>	<b>-41.53804</b>	<b>-9.57294</b>	<b>0.87060</b>	<b>-0.76951</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>39.26464</b>	<b>-25.25206</b>	<b>-37.79650</b>	<b>23.88297</b>	<b>1.46814</b>	<b>-1.36909</b>
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2.10637</b>	<b>-12.11213</b>	<b>-2.06920</b>	<b>5.55578</b>	<b>0.03717</b>	<b>-6.55635</b>
<b>2</b>	<b>4</b>	<b>30.96657</b>	<b>23.83139</b>	<b>-30.24973</b>	<b>-24.52367</b>	<b>0.71684</b>	<b>-0.69228</b>
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>16.96797</b>	<b>-21.29721</b>	<b>-16.37620</b>	<b>18.48944</b>	<b>0.59177</b>	<b>-2.80777</b>
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>24.86066</b>	<b>2.40481</b>	<b>-24.45134</b>	<b>-6.61575</b>	<b>0.40933</b>	<b>-4.21094</b>
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>16.47518</b>	<b>-18.25354</b>	<b>-15.94240</b>	<b>13.57308</b>	<b>0.53279</b>	<b>-4.68046</b>
<b>3</b>	<b>6</b>	<b>45.59401</b>	<b>39.02519</b>	<b>-44.94899</b>	<b>-37.99463</b>	<b>0.64503</b>	<b>1.03055</b>
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1.78777</b>	<b>-24.64535</b>	<b>-0.95615</b>	<b>17.45861</b>	<b>0.83161</b>	<b>-7.18674</b>
<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1.07125</b>	<b>20.08821</b>	<b>-0.59967</b>	<b>-25.38962</b>	<b>0.47158</b>	<b>-5.30140</b>

- La puissance active générée totale : 217.2991 MW
- La puissance réactive générée totale : -0.2559 MVAR
- La puissance active demandée totale : 210 MW
- La puissance réactive demandée totale : 210 MVAR
- Les pertes actives totales : 7.2991 MW
- Les pertes réactives totales : -35.5055 MVAR
- Le facteur de puissance : 1.0000

**-Analyse du résultat :**

La compensation au niveau les jeux de barre (4 et 5) a augmentée la tension dans ces jeux de barres et a augmenté le facteur de puissance, et cette compensation donne une bonne résultats dans les autres jeux de barres.

**V.2.3 Interprétation les résultats :**

En comparant les résultats obtenus dans les différents cas (sans compensation et avec compensation), on voit clairement l'influence de l'injection de la puissance réactive sur le système de tension.

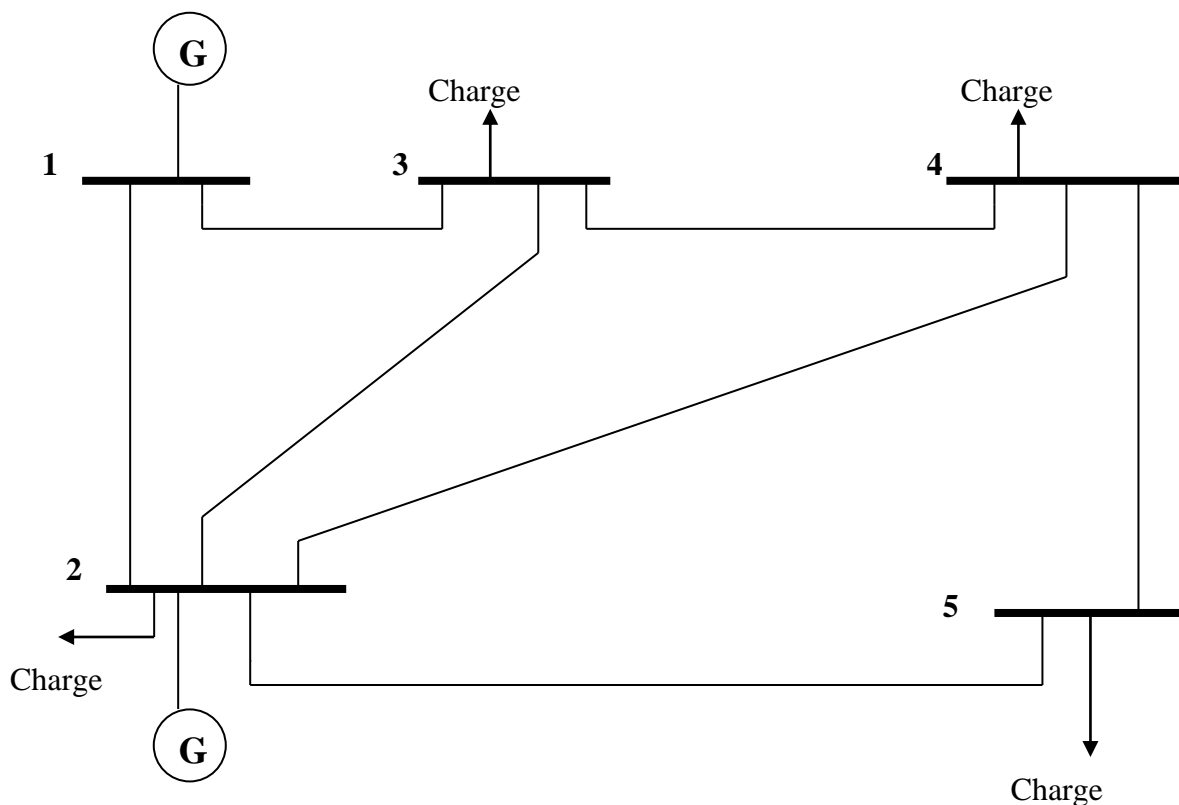
Cependant, il est nécessaire de songer à une meilleure compensation à fin de atteindre les limite désire avec les minimum de puissance réactive à installer dans un nombre minimal de jeux de barre, par conséquent, et parmi les cas étudiés, le cas a parait le plus adopté à cette étude, ce dernier présente un avantage técnico-économique.

**V.3. Compensateur synchrone :**

Dans cette partie nous avons étudié le compensateur synchrone comme compensateur statique de deux cas,

Le premier cas inductif : cas absorption la puissance réactive.

Et le deuxième capacitif : cas de génération la puissance réactive.

**Exemple :**

*Fig. 5.2 : schéma de 5 jeux de barre.*

**- Données initiales :**

Nombre de jeux de barre = 5

Nombre de branche = 7

Nombre d'itération = 20

La tolérance = 0.00001

**- 5-3-1 : Les données de ligne :**

Du nœud au nœud		Résistance	Réactance	Susceptance
1	2	0.020	0.060	0.030
1	3	0.080	0.240	0.025
2	3	0.060	0.180	0.020
2	4	0.060	0.180	0.020
2	5	0.040	0.120	0.015
3	4	0.010	0.030	0.010
4	5	0.080	0.240	0.025

**- 5-3-2 : Les données de J.D.B**

J.D.B	Module	Argument	P <sub>D</sub> (MW)	Q <sub>D</sub> (MVAR)	P <sub>G</sub> (MW)	Q <sub>G</sub> (MVAR)	Nature de JDB
1	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
2	1.0	0.00	20.00	10.00	40.00	30.00	3
3	1.0	0.00	45.00	15.00	0.00	0.00	3
4	1.0	0.00	40.00	50.00	0.00	0.00	3
5	1.0	0.00	60.00	10.00	0.00	0.00	3

#### V.4. Les cas de compensation en utilisant un moteur synchrone :

##### V.4.1. En cas inductif :

###### La quatrième itération:

###### 5-4-1-1 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B

N° de jeu de barre	Module	Argument	PG (MW)	QG (MVAR)	PD (MW)	QD (MVAR)
01	1.06000	0	136.00738	43.46010	0	0
02	1.02711	-2.63991	40.00000	30.00000	20.00000	10.00000
03	0.98423	-4.73507	0	0	45.00000	15.00000
04	0.97571	-4.99712	0	0	40.00000	50.00000
05	0.98756	-6.06430	0	0	60.00000	10.00000

###### 5-4-1-2 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE

Du jeu de barre au jeu de barre	P (IJ)	Q (IJ)	P (JI)	Q (JI)	PL	QL
01 02	93.22751	25.58167	-91.53125	-27.02855	1.69626	-1.44688
01 03	42.77987	17.87843	-41.17211	-18.28596	1.60775	-0.40753
02 03	29.54933	17.84063	-25.40033	-16.54115	0.53170	-2.45224
02 04	29.54933	17.84063	-28.82635	-19.68564	0.72298	-1.84501
02 05	56.04990	15.09903	-54.75321	-14.25432	1.29668	0.84470
03 04	21.57244	19.82711	-21.47976	-21.46979	0.09268	-1.64268
04 05	5.30611	-8.89457	-5.24679	4.25433	0.05932	-4.64025

-- La puissance active générée totale : 176.0074 MW

- La puissance réactive générée totale : 73.4601 MVAR

- La puissance active demandée totale : 165 MW

- La puissance réactive demandée totale : 85 MVAR

- Les pertes actives totales : 6.0074 MW

- Les pertes réactives totales : -11.5899 MVAR

- Le facteur de puissance : 0.9228

#### V.4.2 En cas capacitif :

##### La quatrième itération:

##### 5-4-2-1 : TENSIONS & PUISSANCES AUX NIVEAU DE J.D.B

<i>N° de jeu de barre</i>	<i>Module</i>	<i>Argument</i>	<i>PG (MW)</i>	<i>QG (MVAR)</i>	<i>PD (MW)</i>	<i>QD (MVAR)</i>
01	1.06000	0	135.16896	-13.31737	0	0
02	1.04628	-2.92133	40.00000	30.00000	20.00000	10.00000
03	1.01299	-5.07768	0	0	45.00000	15.00000
04	1.00639	-5.35506	0	0	40.00000	50.00000
05	1.01953	-6.39055	0	0	60.00000	10.00000

##### 5-4-2-2 : PUISSANCES TRANSITES ET PERTES AU NIVEAU DE LIGNE

<i>Du jeu de barre au jeu de barre</i>	<i>P (IJ)</i>	<i>Q (IJ)</i>	<i>P (JI)</i>	<i>Q (JI)</i>	<i>PL</i>	<i>QL</i>
01 02	92.77506	-7.65995	-91.23971	5.61109	1.53535	-2.04887
01 03	42.39390	5.57859	-41.06418	-6.96379	1.32972	-1.38520
02 03	25.87056	8.95653	-25.43564	-11.89347	0.43492	-2.93695
02 04	29.47092	11.70105	-28.88913	-14.17075	0.58179	-2.46971
02 05	55.89824	4.67843	-54.74193	-4.41072	1.15631	0.26771
03 04	21.49982	14.11874	-21.43242	-15.95551	0.06740	-1.83678
04 05	5.32155	-9.74546	-5.25808	4.80518	0.06347	-4.94028

-- La puissance active générée totale : 175.1690 MW

- La puissance réactive générée totale : 16.6826 MVAR

- La puissance active demandée totale : 165 MW
- La puissance réactive demandée totale : 85 MVAR
- Les pertes actives totales : 5.1690 MW
- Les pertes réactives totales : -15.3501 MVAR
- Le facteur de puissance : 0.9955

**-Analyse de résultat :**

Dans ce cas (cas capacitif) la compensation au niveau de jeux de barre 4 a augmenté la tension dans ce jeu de barre et cette compensation donne un bon résultat dans l'autre jeu de barre.

**V.4.3.Interprétation :**

D'après les résultats obtenue on constate que :

Pour le premier cas (en cas inductif), le moteur absorbe la puissance active et la puissance réactive, dans ce cas le moteur ne fonctionne pas comme un compensateur synchrone mais fonctionne comme une charge. Par contre dans le deuxième cas le moteur absorbe une puissance active et produit une puissance réactive dans ce cas le moteur asynchrone c'est un compensateur synchrone.

## ***Conclusion générale***

*Dans ce travail, nous sommes intéressé à l'étude des dispositifs de compensations dans les réseaux électrique. Notre travail s'est porté plus particulièrement sur l'étude du compensateur statique et le compensateur synchrone.*

*D'après les résultats de calcul et programmation, on constate que l'utilisation des système de compensation neutralise les charges inductive qui conduit a une élévations du facteur de puissance et amélioré la qualité du réseau électrique.*

*L'étude de la compensation de l'énergie réactive dans les réseaux électriques, est devenue l'un des sujets qui intéresse tant les ingénieurs de genie-électrique aussi que d'autres chercheurs.*

*En vue d'améliorer nos connaissances dans ce domaine on a réalisé une étude qui a visé en premier lieu l'étude de l'impact de la compensation sur les indices de qualités d'énergie, et l'amélioration des performances du système énergétique.*

*Le premier problème qui se pose est celui du l'identification de l'endroit le plus efficace à réaliser la compensation. Pour la compensation shunt on a choisi la tension minimale comme critère de sélection.*

*On peut dire pour que l'étude de la compensation sont plus étendue et efficace, on doit prendre en considération tous les contraintes (Contraintes liées aux générateurs-échauffement des lignes, coût de production...), c'est-à-dire traité le problème de compensation d'une manière optimale.*

# *Bibliographie*

[1] : Laiadi Belkacem, KREKIR Mohamed Saber (compensation dynamique de l'énergie réactive dans les réseaux électriques). Mémoire de fin d'étude d'ingénieur juin 2005.

[2] : Debabeche riadh, Ben salah Malek (renforcement en énergie électrique du départ MT 30KV de Zeribet El Oued) Mémoire de fin de d'étude d'ingénieur d'état, juin1999

[3]: ZAHNITE Hakim, BEN ALIA Khaled (étude des compensateurs statiques l'énergie réactive SVC dans les réseaux électrique. Mémoire de fin de d'étude d'ingénieur d'état, juin2005.

[4]: R WIERDA « flicker ou scintillement des sources lumineuses »

[5]: P.NEYAND et G.VERSEILLE, « Technique d'ingénieur » Article D1992».

[6]: Chérif Fatha ; Chikhi khaled (Comparaison des methodes Gauss-Seiodel et de Newton Raphson dans le calcul de la répartition de charges et étude théorique de la compensation de l'énergie réactive en utilisant la méthode de programmation evolée). Mémoire de fin de d'étude d'ingénieur d'état, juin1998.

[7] : Abdel-Moamen M.A «Power Flow Control and Transmission loss Minimization Model with TCSC for Practical Power Networks », 2003 IEEE.

[8]: Ahad Kazemi and Babak Badrezadeh «Modeling and Simulation of SVC and TCSC to study their Effects on Maximum Loadability point».

[9] : « électrotechnique ».

[10] : HANTOUCHE « condensateurs de puissance ».

[11] : FOUNIE, J CPILLE « condensateurs de puissance ».

[12] : ROCK « Manœuvre et protection des batteries de condensateurs MT ».