

17/02/81

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
**Département de Génie Electrotechnique et Automatique**



**Domaine :** Sciences et Technologie  
**Filière :** Electrotechnique  
**Spécialité :** Réseaux Electriques

**Mémoire de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de master académique**

---

---

## **Contrôle centralisé de la tension**

---

---

Présenté par :

**Boufelfel zakaria.**

Sous la direction de :

**Dr : Bounaya Kamal.**

MAI 2013

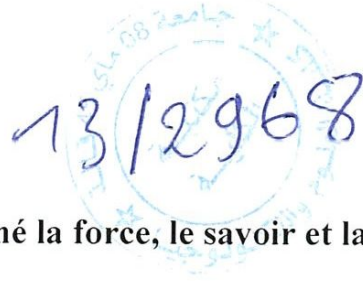


# REMERCIEMENTS

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

رَبِّهِ اشْفَعْ لِي صَدْرِي ﴿٢٥﴾ وَ يَسِّرْ لِي أَمْرِي ﴿٢٦﴾ وَأَخْلُصْ عُقْدَةَ مَن لِّسَانِي ﴿٢٧﴾ يَفْقَهُوا قَوْلِي ﴿٢٨﴾

صدق الله العظيم



Tout d'abord je remercie le bon dieu qui m'a donné la force, le savoir et la patience pour réaliser ce travail.

Je tiens à remercier infiniment mon directeur de projet Mr le Docteur Bounaya Kamel qui m'a guidé, orienté et aidé inconditionnellement pendant ce travail.

Notre gratitude va également à :

Mr Dr Fraga Chams Eddine, Mr Dr Mousaoui abd-elkarim, Mr Dr Boudfel Amar, Mr Dr Boumaza Mohamed

Mes reconnaissances vont aussi à messieurs les membres de jury, pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail.

Finalement je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près et de loin à ma formation et surtout à nos collègues.

## Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux  
deux qui sont pour moi le plus chères  
personnes: Ma très très très très

chère mère et mon père

A mon très cher frère, ma très

chère sœur

A mes oncles et leurs femmes, mes  
tantes, mes cousins et cousines

Je dédie aussi à mes amis les plus  
intimes surtout chouhou

A toute la promotion du  
Master réseaux électriques 2013

Et toutes les personnes qui me

ZAKI juve connaît. ;)

# SOMMAIRE

## Introduction générale :

## Chapitre I : description des états de régime des réseaux électriques.

I .1. Energie active ( $E_a$ ) .....	1
I .2. Energie réactive ( $E_r$ ) .....	1
I .3. Energie apparente ( $E_{pp}$ ) .....	2
I .4 Représentation des courants par FRESNEL .....	3
I .5. Facteur de puissance .....	5
I .5.1. Avantages d'un bon facteur de puissance .....	7
I .5.2. Inconvénients d'un mauvais $\cos\varphi$ .....	7
I .5.3. Quelques valeurs de $\cos\varphi$ .....	8
I .6. Optimisation des choix technico-économique .....	9
I .6.1. Diminution de la section des câbles .....	9
I .6.2. Diminution des pertes en lignes .....	9
I .6.3. Réduction de la chute de tension .....	9
I .6.4. Augmentation de la puissance disponible .....	9
I .7. Effet négative provoquée par l'écoulement de la puissance réactive .....	10
I .7.1. Chute de la tension dans les lignes et les transformateurs .....	10
I .7.2. Pertes par effets joules .....	10
I .7.3. Effet sur le facteur de puissance .....	11
I .7.4. Effet sur les investissements.....	11
I .8. Objectifs de la compensation .....	12
I .9. Principe de la compensation .....	13
I .10. Moyen d'amélioration du facteur de puissance .....	16
I .10.1. Action directe sur les causes du mauvais facteur de puissance .....	16
I .10.2. Moyens indirectes d'amélioration du facteur de puissance .....	18
I .11. Nécessité de diminution de transit de puissance réactive .....	18

I.12. Energie réactive et investissement .....	18
I. 13. Transport de l'énergie électrique .....	19
I. 14. Organisation d'un réseau de transport d'énergie .....	19
I.15. Transition de l'énergie réactive .....	21

## **Chapitre II : éléments et propriétés caractéristiques des moyens de compensation.**

II. 1. Introduction .....	24
II. 2. La puissance réactive .....	24
II. 3. But de compensation .....	27
II. 4. Les différentes sources de l'énergie réactive .....	28
II. 4. 1. Les lignes électriques .....	28
II. 4. 2. Les centrales (groupe de génération) .....	28
II. 4. 3. Groupes thermiques et hydrauliques .....	28
II. 4. 4. Les compensateurs .....	29
II. 4. 4. a. Compensateurs synchrones (moteurs) .....	29
II. 4. 4. b. Compensateurs statiques .....	30
II. 5. Batteries de condensateurs .....	30
II. 5. 1. Compensation shunt .....	31
II. 5. 1. a. Mode de couplage des batteries condensateur .....	32
II. 5. 1. b. Protection des batteries shunt .....	32
II. 5. 1. c. Avantage et inconvénients des batteries shunt .....	33
II. 5. 2. Compensateur série .....	33
II. 5. 2. a. Protection des batteries série .....	34
II. 5. 2. b. Les avantages et les inconvénients des batteries condensateurs .....	34
II. 5. 3. Compensation par batteries en gradins .....	34
II. 5. 3. a. Utilisé et principe .....	34
II. 5. 3. b. Commande des gradins .....	35
II. 5. 3. Inductances .....	35

II. 6. Mode de compensation .....	36
II. 6. 1. Compensation globale .....	36
II. 6. 2. Compensation par secteur .....	37
II. 6. 3. Compensation individuelle .....	38
II. 7. Compensateur statique de puissance ou FACTS .....	39
II. 7. 1. Définition.....	39
II. 7. 2. Les systèmes classiques à thyristors .....	41
II. 7. 2. a. Les systèmes hybrides .....	41
II. 7. 2. b. Les systèmes à gradateurs .....	42
II. 8. Compensateur statique de puissance réactive ou SVC .....	42
II. 8. 1. Définition du SVC .....	42
II. 8. 2. Structure de principe .....	42
II. 8. 3. Constitution du SVC .....	44

### **Chapitre III : organisation de la compensation dans un réseau de distribution.**

III. 1. Présentation du problème .....	45
III. 2. Calcul des pertes de la tension .....	48
III. 2. 1. Ligne : A-1-4 .....	48
III. 2. 2. Ligne magistrale A-1-2-3 .....	51
III. 3. Caractéristiques de réglage .....	53
III. 3. 1. Ligne A-1-4 .....	54
III. 3. 2. ligne A-1-2-3 .....	60

**Conclusion :**

**Bibliographie :**

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## **Introduction générale :**

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre de centrales électriques, de lignes de transformateurs ...etc, ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel. En conséquence, il est aujourd'hui important d'avoir des réseaux maillés et travailler proches des limites de stabilité afin de satisfaire ces nouvelles exigences.

Durant les dernières années, l'industrie de l'énergie électrique est confrontée à des problèmes liés à des nouvelles contraintes qui touchent différents aspects de la production, de transport et de la distribution de l'énergie électrique. On peut citer entre autres les restrictions sur les constructions de nouvelles lignes de transport, l'optimisation du transit dans les systèmes actuels, la cogénération de l'énergie, les interconnexions avec d'autres compagnies d'électricité et le respect de l'environnement.

Dans ce contexte, il est intéressant pour traiter et analyser le problème de l'énergie réactive et sa relation avec la qualité de l'énergie électrique, alors la puissance réactive a pour effet de produire plusieurs perturbations qui peuvent empêcher la sûreté de fonctionnement, et la solution de ce problème passe par l'amélioration de cette puissance réactive par des moyens de compensation qu'on va les citer par la suite de ce travail.

Comme tout générateur d'énergie électrique, un réseau de puissance fournit de l'énergie aux appareils utilisateur par l'intermédiaire des tensions qu'il maintient à leurs bornes. Il est évident que la qualité et la continuité de la tension est devenue un sujet stratégique pour plusieurs raisons concernant l'exploitation des réseaux électriques.



# Chapitre 1

DESCRIPTION DES ÉTATS DE RÉGIME DES  
RÉSEAUX ÉLECTRIQUES.

Le transport de la puissance réactive à longue distance présente une série d'inconvénients tels-que les chutes de tension considérables, les pertes de ligne par effet joule et moins de capacité pour transporter la puissance active.

A l'exception de ces aspects purement statiques, la puissance réactive peut jouer un grand rôle dans d'autres aspects dynamiques, tels-que les fluctuations de tension produites par les variations soudaines des charges, le phénomène flicker, et une meilleure marge pour la stabilité.

Actuellement, avec la complexité des réseaux, la participation des générateurs dans la production de l'énergie réactive est devenue insuffisante. Elle est générée en grande partie par les moyens de compensation existants ou en période creuse, par les lignes de transport.

Afin de garantir une bonne qualité d'énergie il est nécessaire de satisfaire l'équilibre offre demande de l'énergie réactive, de fournir une tension aussi régulière que possible et de respecter un certain nombre de contraintes techniques.

### **I.1. Energie active (Ea) :**

Exprimée en kilowatt heure (KWH), elle résulte de la puissance active P(kw) des récepteurs .Elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi \quad (I.1)$$

### **I.2. Energie réactive (Er) :**

Exprimée en KVAR heure (KVAR h), elle sert à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques. Elle correspond à la puissance réactive Q(KVar) des récepteurs.

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi (I.2)$$

### I.3. Energie apparente (Epp):

Exprimée en volt ampère - heure (VAh), elle est la somme vectorielle des deux énergies précédentes (active et réactive)

$$\vec{E}_{pp} = \vec{E}_a + \vec{E}_r \quad (I.3)$$

Elle correspond à la puissance apparente S(KVA) des récepteurs, somme vectorielle de P(KW) et Q(KVAR).

$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q} \quad (I.4)$$

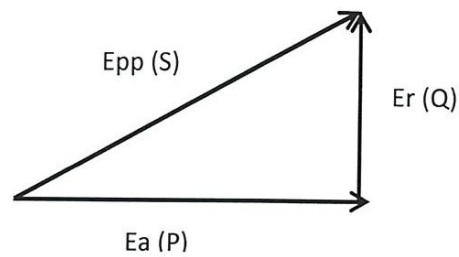


Fig. I.1

Ou :

$$S = \sqrt{3}UI \quad (I.5)$$

#### I.4. Représentation des courants par FRESNEL :

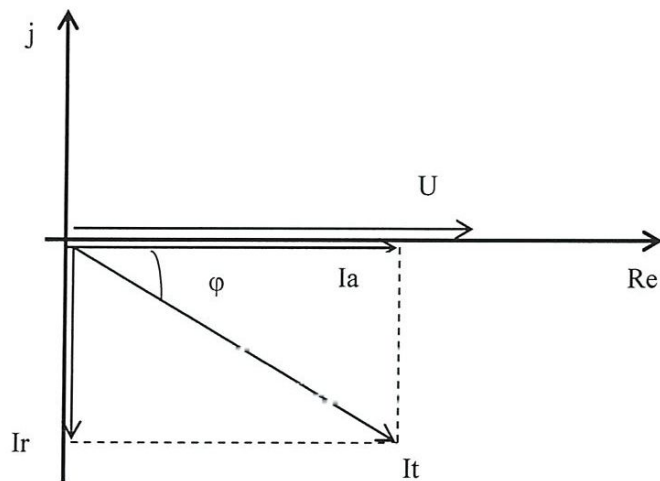


Fig.I.2

D'après la représentation ci-contre et sachant qu'en monophasé :

➤  $P=UI_t\cos\varphi$  (I.6)

➤  $Q=UI_t\sin\varphi$  (I.7)

➤  $S=UI_t$  (I.8)

Nous pouvons donc écrire :

➤  $P=U.I_a$  (I.10)

➤  $Q=U.I_r$  (I.11)

➤  $S=U.I_t$  (I.12)

De cela nous pouvons donc voir qu'il est très simple de retranscrire le diagramme des courants donné précédemment par le diagramme suivant :

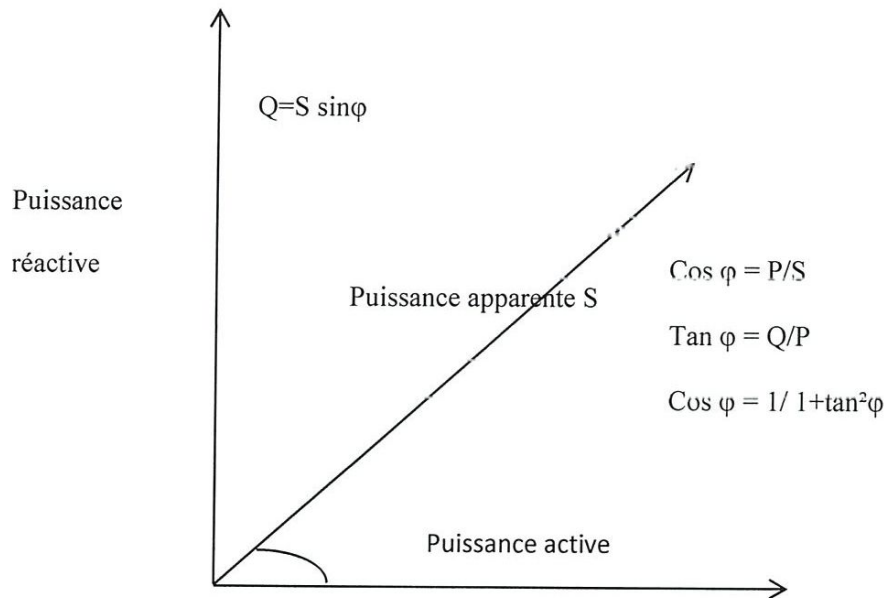


Fig.I.3

On constate que :

$$P^2 + Q^2 = S^2 \quad (I.13)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (I.14)$$

**Remarque:**

- les équations ci-contre donneraient les mêmes résultats si nous étions en triphasé.
- Le facteur de puissance est la proportion de puissance active dans la puissance apparente.

Nous pouvons donc dire et puisque le facteur de puissance est égal au rapport de la puissance active par la puissance apparente que :

- Le facteur de puissance est égal au  $\cos\varphi$ .
- Le  $\cos\varphi = P/S$  ou  $I_a/I_t$
- $P < S$  donc  $0 < \cos\varphi < 1$

**I.5. Facteur de puissance :** On définit facteur de puissance par le rapport de la puissance active (P) sur la puissance apparente (S) et peut varier de 0 à 1. Si les courants et les tensions sont des signaux parfaitement sinusoïdaux, le facteur de puissance est égal à  $\cos \varphi$ .

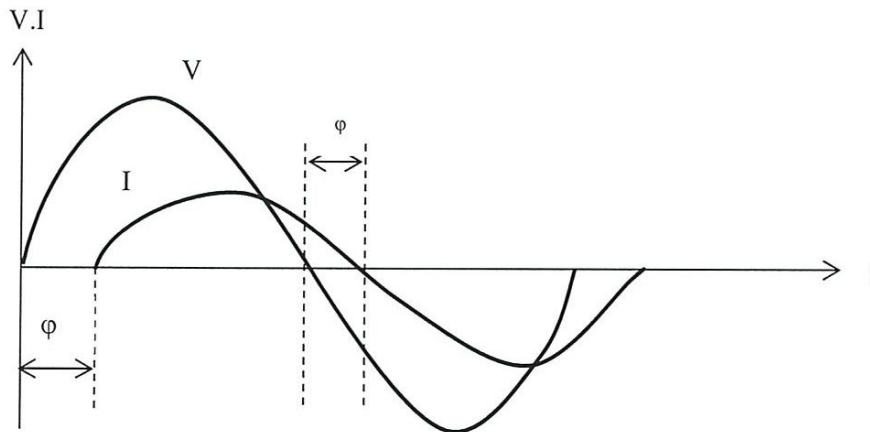


Fig. I.4

( $\varphi$  = L'angle de déphasage entre la tension et le courant).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{\text{puissance active (kw)}}{\text{puissance apparente (kva)}} \quad (\text{I.15})$$

Ou utilise également la variable  $\text{tg } \varphi$ . Dans les mêmes conditions, nous avons la relation:

$$\text{Tg } \varphi = \frac{Q}{P} \quad (\text{I. 16})$$

Si une période de temps donnée, nous avons également :

$$\text{tg } \varphi = \frac{E_r}{E_a} \quad (\text{I. 17})$$

Le  $\text{tg } \varphi$  doit être la plus petite que possible. Ce que s'obtient par la diminution de la consommation de l'énergie réactive  $\cos \varphi$  et le  $\text{tg } \varphi$  sont liés par la relation suivante :

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+(\text{tg } \varphi)^2}} \quad (\text{I. 18})$$

### **I.5.1. Avantages d'un bon facteur de puissance :**

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :

- La suppression de la facturation d'énergie réactive.
- La diminution de la puissance souscrite en KVA.
- La limitation des pertes d'énergie active dans les câbles compte tenu de la diminution de l'intensité véhiculée dans l'installation.
- L'amélioration du niveau de tension en bout de la ligne.
- L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire.

### **I .5.2. Inconvénients d'un mauvais cosφ ;**

Comme nous venons de le voir précédemment. Pour une même puissance utile fournie par un appareil électrique, il faut transporter dans tous les circuits électriques une intensité d'autant plus grande que le cosφ est faible cela entraîne :

- Accroît les chutes de tension dans les câbles.
- Augmente les pertes par effet joule lors du transport de l'énergie électrique.
- Entraîne une surfacturation Sonelgaz par une surconsommation ou une pénalité.
- Dégrade la capacité de transport de l'énergie électrique par des câbles.
- Entraîne un surdimensionnement des installations neuves, câbles (section), transfo(S), etc



### I.5.3. Quelques valeurs de $\cos \varphi$ :

APPAREIL		Cos $\varphi$	Tg $\varphi$	OBSERVATIONS
Moteurs asynchrones ordinaires chargés à :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0%</li> <li>• 25%</li> <li>• 50%</li> <li>• 75%</li> <li>• 100%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,17</li> <li>• 0,55</li> <li>• 0,73</li> <li>• 0,8</li> <li>• 0,85</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5,8</li> <li>• 1,52</li> <li>• 0,94</li> <li>• 0,75</li> <li>• 0,62</li> </ul>	
Lampes à incandescence		1	0	
Lampes à fluorescence		0,5	1,73	Ces lampes sont généralement compensées. Le FP est alors satisfaisant.
Lampes à fluorescence compensées		0,93	0,39	
Fours à résistances		1	0	Sauf si le réglage est assuré par gradateur à thyristors
Fours à induction		0,85	0,62	Cette valeur suppose une compensation par condensateurs prévue par le constructeur.
Machines à souder à résistances		0,8 à 0,9	0,75 à 0,48	
Postes statiques monophasés de soudage à l'arc		0,5	1,73	Sauf si la compensation a été prévue par le constructeur.
Chaudières à thermoplongeurs		1	0	Sauf si la régulation est assurée par des thyristors fonctionnant à angle de phase; les thyristors à trains d'onde ne modifiant pas le facteur de puissance

Tab.1.1

### **I.6. Optimisation des choix technico-économique :**

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser le choix technico-économiques relatifs à une installation, il évite le surdimensionnement de certain équipement et optimise l'utilisation.

#### **I .6.1. Diminution de la section des câbles :**

Le tableau suivant indique l'augmentation de section des câbles à laquelle un facteur de puissance faible peut conduire.

On voit aussi que la section des câbles à utiliser sera d'autant plus faible que le facteur de puissance sera meilleur (proche de 1).

<b>Facteur multiplication de la section</b>	1	1.25	1.67	2.5
<b>cosφ</b>	1	0.8	0.6	0.4

Tab.I.2

-facteur multiplicateur de la section des câbles en fonction du cosφ.

#### **I.6.2. Diminution des pertes en lignes :**

Un bon facteur de puissance permet aussi une diminution des pertes en ligne à puissance active constante.

Les pertes wattées (dues à la résistance des conducteurs) sont, en effet, intégrées, dans la consommation enregistrée par les compteurs d'énergie active et sont proportionnelles au carré du courant transporté.

#### **I.6.3. Réduction de la chute de tension :**

L'installation de condensateurs permet de diminuer, pouvoir de supprimer l'énergie réactive transportée, donc de diminuer les chutes de tension en ligne.

#### **I.6.4. Augmentation de la puissance disponible :**

L'installation de condensateurs en aval d'un transformateur chargé qui alimente une installation dont le facteur de puissance est faible donc mauvais, permet

Contrôle centralisé de la tension.

une augmentation de la puissance disponible au secondaire de ce transformateur il est ainsi possible de réaliser, l'extension d'une installation sans avoir à changer le transformateur.

### **I.7. Effet négative provoquée par l'écoulement de la puissance réactive ;**

La puissance réactive demandée par certains utilisateurs a une série d'effets non souhaitable qui se résument aux inconvénients suivants

#### **I.7.1.Chute de la tension dans les lignes et les transformateurs :**

Pour un tel réseau la chute de tension peut être exprimée par la formule:

$$\Delta U = \frac{P_2 r + Q_2 x}{U_2} + j \frac{P_2 x - Q_2 r - P_2 r}{U_2} + j \frac{P_2 x}{U_2} + \frac{Q_2 x}{U_2} - j \frac{Q_2 r}{U_2} = \Delta U_{(P)} + \Delta U_{(Q)} \quad (I. 19)$$

De même la circulation des courants réactifs (puissance réactive) en genre une chute de tension  $\Delta U_{(Q)}$  cette composante de la chute de tension est généralement très importante et

elle augmente avec diminution du niveau de tension de réseau; et quand la réactance devient plus importante.

#### **I. 7.2. Pertes par effets joules :**

Pour un tel réseau la valeur efficace du courant dans chaque phase est donnée par l'expression

$$I = \frac{S_2}{\sqrt{3} U_2} \quad (I. 20)$$

D'où les pertes par l'effet joule:

$$P_j = 3rI^2 = \frac{r(p^2 + Q^2)}{U_2^2} \quad (I. 21)$$

La circulation des courants réactifs dans le réseau (à travers  $r$ ) en gendre des pertes supplémentaires de puissance active exprime par:

$$\Delta P_a = \frac{rQ_2}{U_2} \quad (\text{I. 22})$$

### I. 7.3. Effet sur le facteur de puissance :

Comme dans tous les cas le fournisseur exige aux utilisateurs d'énergie électrique un facteur de puissance dans les limites souhaitables pour le bon fonctionnement du système énergétique, par ce que la détérioration du  $\cos \varphi$  qui due aux Charges à caractère selfique provoque une augmentation significative du courants dans les installations électriques et donc des pertes dans les lignes et les transformateurs.

$$P_j = 3RI^2 = \frac{RP^2}{U^2} (1 + \text{tg}^2 \varphi) = \frac{RP^2}{U^2} + \frac{RP^2}{U^2} \text{tg}^2 \varphi \quad (\text{I. 23})$$

Le terme  $\frac{RP^2}{U^2} \text{tg}^2 \varphi$  représente le surplus de pertes joule occasionné par la circulation de puissance réactive.

### I .7.4. Effet sur les investissements:

L'intensité  $I$  du courant qui circule dans un élément du réseau triphasé est égale

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{\sqrt{3}U} \quad (\text{I. 24})$$

On sait que ce courant admissible dans un élément du réseau étant limité par les échauffements thermiques, tout transite du puissance réactive diminue les possibilités de transport de puissance active. Pour satisfaire une même consommation de puissance active il faut donc augmenter la capacité des matériels utilisés ou leur nombre ce qui se traduit par une augmentation des coûts et investissement.

- **Remarque:** la lecture des effets insouhaitables poussera le distributeur d'énergie et les industriels à amener de mettre en œuvre des batteries de condensations.

### I.8. Objectifs de la compensation :

La circulation de l'énergie réactive a des incidences techniques et économiques importantes.

En effet, pour une même puissance active  $P$ , la figure suivante montre qu'il faut fournir d'autant plus de puissance apparente, et donc de courant, que la puissance réactive est importante.

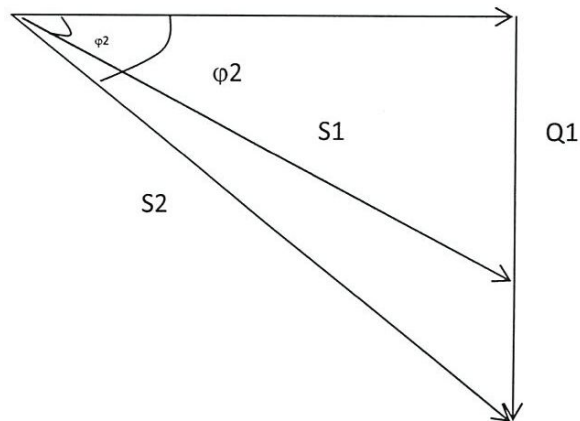


Fig.I.5.a. Influence de la puissance réactive.

Ainsi, la circulation de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution entraîne, du fait d'un courant appelé plus important:

- Des surcharges au niveau des transformateurs,
- L'échauffement des câbles d'alimentation,
- Des pertes supplémentaires,
- Des chutes de tension importantes....

Pour ces raisons, il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges, pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau, c'est ce qu'on appelle

"compensation de l'énergie réactive", pour inciter à cela et éviter de sur calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil, on utilise des condensateurs pour fournir l'énergie réactive aux récepteurs inductifs, pour réduire la puissance apparente absorbée au réseau de la valeur  $S_2$  à la valeur  $S_1$ , on doit connecter une batterie de condensateurs fournissant l'énergie réactive  $Q_c$ , telle que:

$$Q_c = P(\operatorname{tg}\varphi_2 - \operatorname{tg}\varphi_1) \quad (\text{I. 25})$$

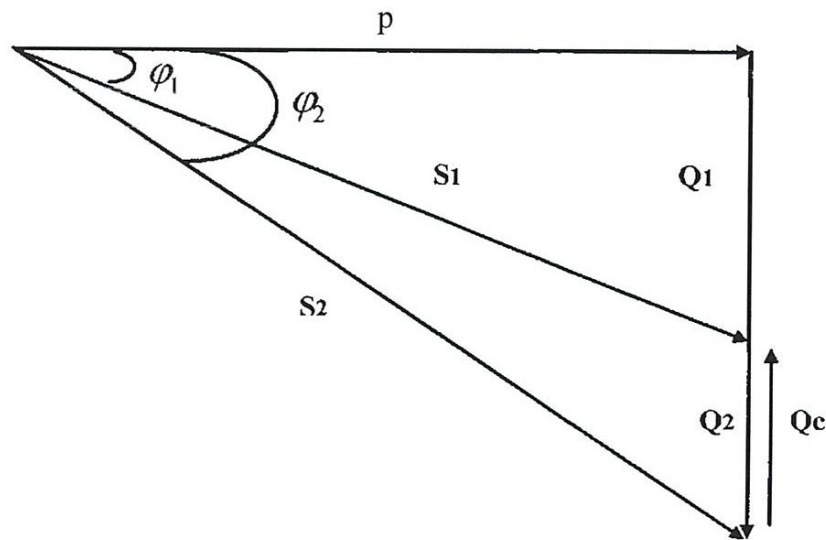


Fig. 1.5.b. Principe de compensation d'énergie réactive.

### I.9.Principe de la compensation :

Le fonctionnement du réseau dans des bonnes conditions de la qualité, de sécurité et d'économie implique une maîtrise de l'évolution de son état électrique.

Le maintien d'une tension correcte nécessite de la part du dispatcher, des ajustements de la production d'énergie réactive par un dialogue avec les centrales. Dans ces conditions, la

coordination des divers moyens de réglage est délicate. Il en résulte des variations de tension importantes entre heures creuses et heures pleines.

Ces variations peuvent être gênantes et il peut dans certains cas en résulter un risque d'auto dégradation du plan de tension qui peut conduire à un effondrement partiel ou total du réseau.

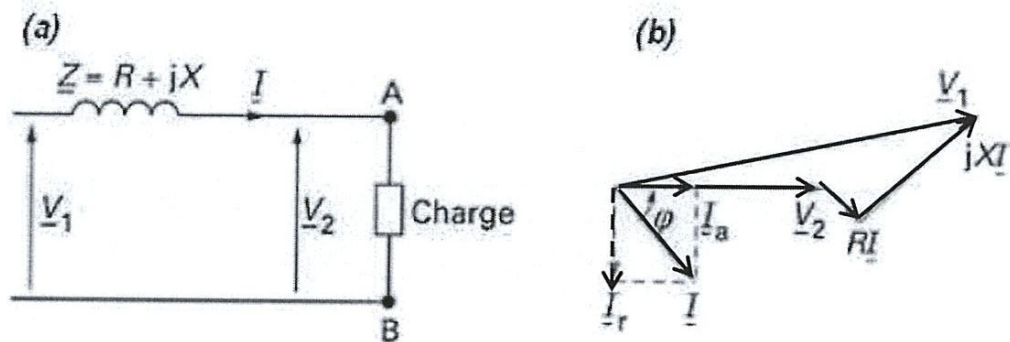
Sans disposition particulière, la puissance réactive consommée par les charges et le réseau provient essentiellement des alternateurs. Le transit de cette puissance à travers les éléments du réseau produit non seulement des chutes de tension mais aussi des pertes actives et réactives par effets joule.

La chute de tension et les pertes par effet de joule dans un réseau électrique de distribution sont données par les équations

$$\Delta U\% = \frac{P.R+Q.X}{U^2} 100 \quad (\text{I. 26})$$

$$\Delta P = 3I^2 \cdot R = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2+Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} \cdot R \quad (\text{I. 27})$$

La fig. I. 6, présente un circuit monophasé non compensé et son schéma de Fresnel des courants et des tensions



$I_a$  : composante active du courant  
 $I_r$  : composante réactive du courant

Fig.I.6. Circuit sans compensation : (a) schéma unifilaire,

(b) représentation de Fresnel

On peut réduire ces perturbations de tension ainsi que les réactions dues aux charges asymétriques et aux harmoniques, en évitant le transport de la puissance réactive et la

produire autant que possible là où elle est consommée et cela est possible en installant des dispositifs appelés les compensateurs réactives Fig. I

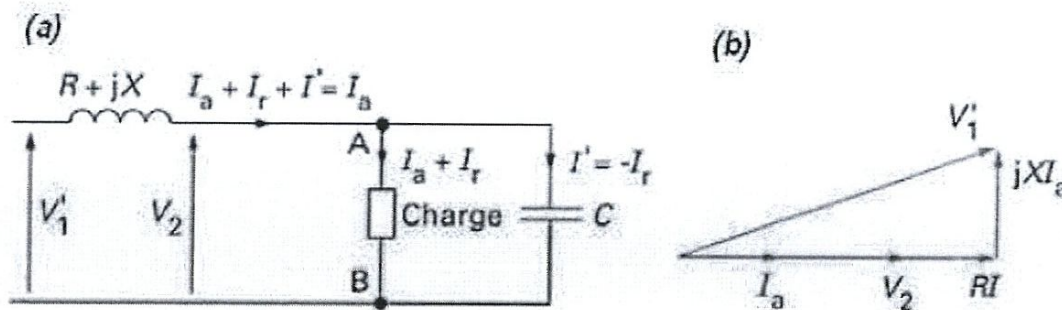


Fig.I.7. Circuit avec compensation : (a) schéma unifilaire,(b) représentation de Fresnel.

Les caractéristiques idéales pour un système quelconque de compensation sont les suivantes:

- Réponses instantanées à des variations brusques des charges.
- Réponses indépendantes pour chaque phase de manière à ce que les variations des charges équilibrées et déséquilibrées sur les phases soient atténuées.

Le principe de la compensation serait donc, selon la demande du réseau, de fournir de la puissance réactive ou de l'absorber.

En analysant la nature de la puissance réactive, on peut conclure que la puissance réactive est une chose très importante pour les réseaux électriques (en courant alternatif).

On distingue les sources principales et les sources complémentaires (ou secondaire)

- Les sources principales : sont destinées pour la production de la puissance active et la puissance réactive, ce sont les générateurs des centrales électriques qui produisent ces puissances.
- Les sources complémentaires (ou secondaire) : sont des installations électriques destinées pour la compensation du surplus ou des déficits de la puissance réactive dans les réseaux électriques et pour des différents réglages dans ces régimes de fonctionnement.

Leur puissance installée et leur emplacement sont en relation directe avec des critères d'ordre technique et technico-économique. Les installations électriques sont installées dans des sous stations directement ou sous formes de consommateur.



### **I.10. Moyen d'amélioration du facteur de puissance :**

En définitive, un facteur de puissance de faibles valeurs a souvent pour cause les mauvaises conditions d'utilisation des transformateurs et des moteurs asynchrones énumérées ci-dessous :

- transformateurs fonctionnant à vide ou à faible charge.
- moteurs asynchrones utilisés à des marches à vide ou à faibles charges fréquentes, auxquelles il convient d'ajouter parfois un niveau de tension d'alimentation trop élevé, et pour traiter ces causes des faibles valeurs du facteur de puissance nous avons comme solution des moyens d'amélioration :

#### **I .10.1. Action directe sur les causes du mauvais facteur de puissance :**

Elle consiste essentiellement à supprimer la marche à vide ou à faible charge des moteurs et des transformateurs.

Les moyens d'amélioration directe par action sur les causes du mauvais facteur de puissance sont indiqués par le tableau ci-dessous :

	Principales causes du facteur de puissance insuffisant	Moyen d'y remédier
<i>Mot</i>	Marche a vide fréquentes	Regroupements des machines et de transmission, commande individuelle, emploi d'appareils de commande rationnellement choisie et judicieusement dispose (commande automatique par contacteur, interrupteurs statique, etc.).
	Marche a faible charge	Permutation et remplacements de moteurs, regroupement, des machines et de transmission, commande individuelle, couplage étoile-triangle.
	Moteurs défectueux	Remplacement ou rebobinages.
<i>Transformate</i>	Tension d'alimentation trop élevée	Diminution de la tension par changement des prises du transformateur, couplages étoile - triangle.
	Consommation exagérée d'énergie réactive	Révision, remplacement ou suppression de transformateurs ; emploi d'appareils moderne à pertes réduites.
	Fonctionnement a vide où a faible charge	Emploi de transformateurs à pertes réduites, réduction ou suppression des marches a vides ou a faible charge (utilisation d'un branchement supplémentaire alimentée par le réseau a BT du distributeurs d'énergie électrique, dispositifs particuliers couplages série parallèle par exemple).

Tab.1.4

### **I.10.2. Moyens indirectes d'amélioration du facteur de puissance :**

Augmenter le cos $\phi$  revient à diminuer tg $\phi$  ce qui s'obtient par diminution de l'énergie réactive absorbée, il s'agit donc de fournir de l'énergie en utilisant des dispositifs de compensation qui apportent à l'ensemble de l'installation toute ou partie de l'énergie réactive qu'elle consomme, le réseau n'a plus qu'à fournir la différence entre l'énergie réactive demandée par l'ensemble des appareils d'utilisation et celle produite par les dispositifs précités.

### **I.11. Nécessité de diminution de transit de puissance réactive :**

Pour le distributeur d'électricité, le problème se pose d'une manière très différente selon la nature du réseau envisagé. En effet, les lignes aériennes qui constituent les réseaux publics de transport d'électricité et d'alimentation de la clientèle ont une inductance linéique  $x$  à peu près constante (entre 0.3 et 0.4 $\Omega$ /km), quelles que soient les caractéristiques de l'ouvrage. En revanche, la résistance linéique  $r$  varie fortement en fonction de la section de la ligne et donc de sa fonction ( de 0.8 $\Omega$ /km pour un conducteur en aluminium de section 35mm<sup>2</sup> utilisé sur les réseaux de distribution à basse tension à 0.029 $\Omega$ /km pour un conducteur en almélec de section 2 x570 mm<sup>2</sup> utilisé sur le réseau de transport à 400kv). Dans le premier cas, on considérant une valeur de tg $\phi$  de 0.5, le terme RP est 5 à 6 fois plus élevé que le terme XQ. Dans le second cas, c'est au contraire le terme XQ qui est 5 à 6 fois plus élevé que le terme RP. Aussi est-ce surtout sur le réseau de transport que l'on cherche à limiter le plus possible les transites d'énergie réactive, afin de maintenir la tension aux différents sommets du réseau dans les limites admissibles

### **I.12. Energie réactive et investissement :**

L'intensité du I du courant qui circule dans un élément du réseau triphasé est égale à :

$$\frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{\sqrt{3}U} \quad (I. 28)$$

Le courant admissible dans un élément de réseau étant limité par les échauffements thermiques. Tout transit de puissance réactive diminue les possibilités de transport de puissance active, il faut donc augmenter la capacité des matériels utilisés ou leur nombre ce qui se traduit par une augmentation des investissements.

### **I.13. Transport de l'énergie électrique :**

Habituellement le transport de l'énergie électrique ne suscite pas le même intérêt que sa production et son utilisation ; de sorte qu'on a souvent tendance à négliger l'étude de ce sujet important. Pourtant les investissements humains et matériels effectués au transport dépassent largement les investissements consacrés au secteur de la production.

On sait que le transport électrique se fait sur les conducteurs tels que les lignes aériennes, les câbles souterrains ou le simple fil de raccordement sortant d'un téléviseur.

Malgré leur simplicité apparente, ces conducteurs cachent des propriétés importantes qui influent grandement sur le transport de l'énergie électrique.

### **I.14. Organisation d'un réseau de transport d'énergie :**

Pour que l'énergie électrique soit utilisable le réseau de transport et de distribution doit satisfaire les exigences suivantes :

- 1- assurer au client la puissance dont il a besoin.
- 2- fournir une tension stable dont les variations n'excèdent  $\pm 10\%$  de la tension nominale.
- 3- fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas  $\pm 0.1$  Hz.
- 4- fournir l'énergie à un prix acceptable.
- 5- maintenir des normes de sécurité rigoureuses.
- 6- veiller à la protection de l'environnement.

Nous avons tracé sur la figure (1.8) le schéma élémentaire d'un réseau électrique servant à transporter l'énergie, il est composé de deux centrales de production G1 et G2 de quelques postes de transformation d'un poste d'interconnexion et enfin de charge commerciales, résidentielles et industrielles. L'énergie est transportée sur des lignes très hautes tension (THT) à haute tension (HT) à moyenne tension (MT) et à basse tension (BT)

Contrôle centralisé de la tension.

Selon une échelle de tension recommandées par divers organismes de normalisation, les compagnes d'électricité divisent leurs réseaux en trois Catégories :

1 -le réseau de transport.

2- le réseau de répartition.

3- le réseau de distribution.

\*le réseau de transport (49kv à 765kv) comprend les centrales ainsi que les lignes et les postes de transformation issus des celles-ci.

\*le réseau de répartition (46kv à 315kv) comprend les lignes de transport et les postes de transformation intermédiaires entre le réseau de transport et le réseau de distribution.

\*le réseau de distribution comprend les lignes et les postes de transformation servent à cimenter les clients, ce réseau est composé de deux partie : le réseau de distribution à MT (2.4kv à 35.5kv) et le réseau de distribution à BT (120v à 600v).

Les postes de transformation servent à augmenter ou à baisser la tension et à régulariser celle-ci au moyen de compensateurs synchrones de réactance capacitive ou inductive et de transformateurs à prise variable. Il contient aussi les disjoncteurs, fusibles et parafoudres destinés à protéger les appareils et le réseau.

Les postes d'interconnexion servent à relier le réseau avec d'autre réseaux afin d'augmenter la stabilité de l'ensemble et de permettre des échanges d'énergie.

### I.15. Transition de l'énergie réactive :

Le transit de l'énergie réactive dans le réseau électrique est le résultat de la consommation des charges branchées sur différents endroits du réseau un exemple simple est représenté par la fig 1.9

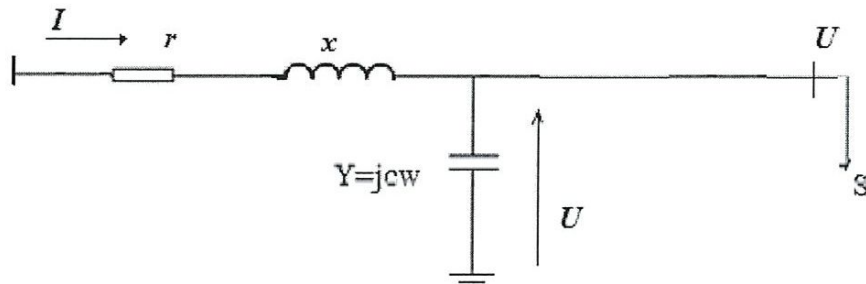


Fig.I.9

$$Q_c = \omega CU^2$$

$$Q_L = \omega LI^2 = \omega L \frac{S^2}{U^2}$$

$$Q_e - Q_L = Q = \omega CU^2 - \omega L \frac{S^2}{U^2} = \frac{\omega CU^4 - \omega LS^2}{U^2} \quad (I.29)$$

Avec :

S : la Puissance apparente.

V : la tension de la ligne. Pour un transformateur  $C \approx 0$  ; il absorbe donc du réactive pour une ligne ou un câble, donc il existe une valeur S de la Puissance transmise pour laquelle le bilan est nul :

$$S_c = V^2 \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (I. 30)$$

Cette valeur de  $S_c$  est appelée Puissance caractéristique. Si la puissance transmise est au-dessous de  $S_c$  l'élément alors fournit du réactive, dans le cas contraire il en absorbe.

Le transit ou l'écoulement de l'énergie réactive sur un réseau provoque :

- des surcharges au niveau des transformateurs.
- l'augmentation des pertes joules.
- Des chutes de tension au bout de la ligne.

Contrôle centralisé de la tension.

Ce qui diminue la qualité de l'énergie électrique reçue par les récepteurs donc il est nécessaire d'apporter cette énergie réactive au point où elle est demandée. C'est pourquoi on utilise les moyens de compensation.

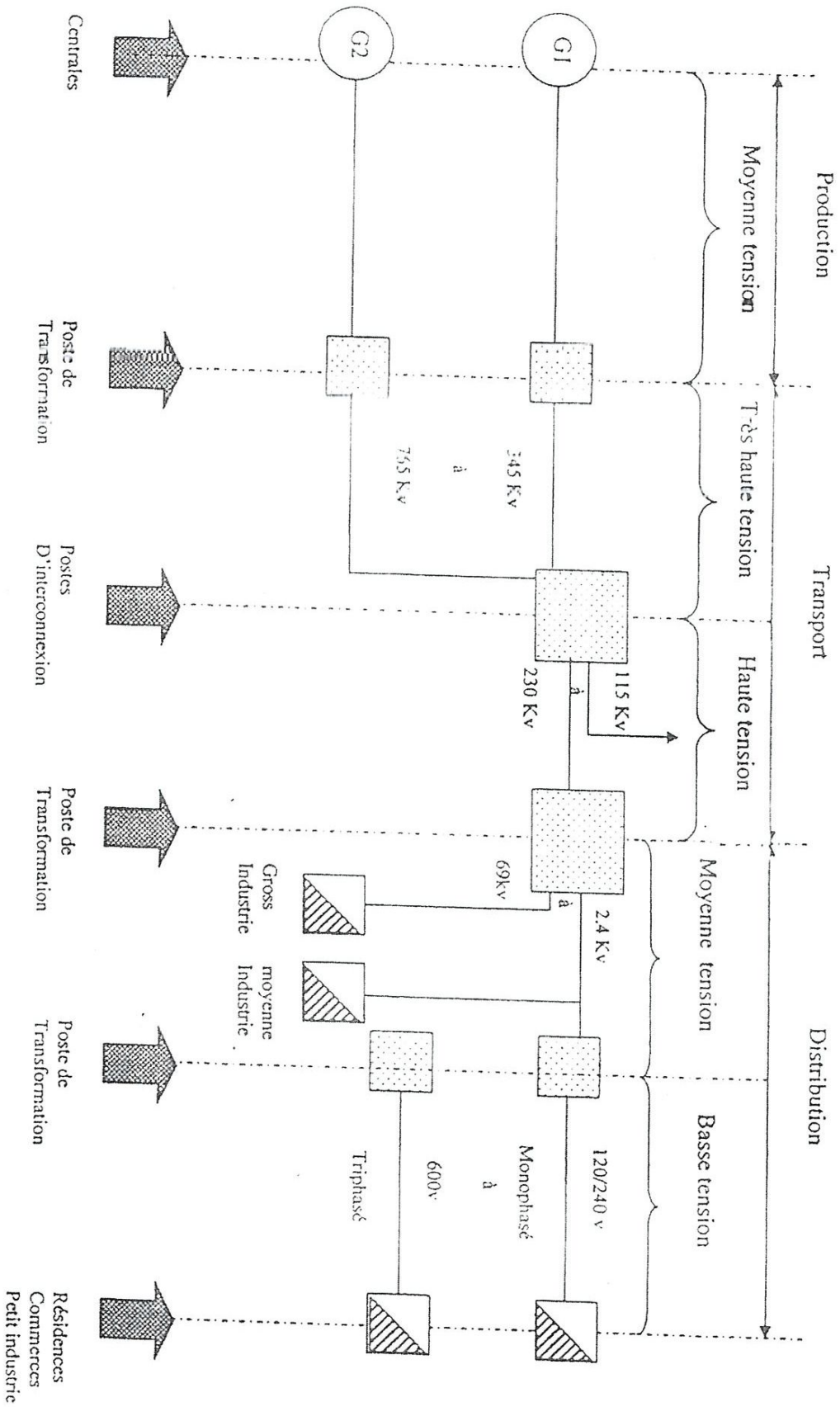


Fig. 1. 8. Organisation d'un réseau électrique



# Chapitre 2

---

ÉLÉMENTS ET PROPRIÉTÉS  
CARACTÉRISTIQUES DES MOYENS DE  
COMPENSATION.

## II. 1. Introduction

Tout système électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie l'énergie active et l'énergie réactive. Dans les processus industriels utilisant l'énergie électrique seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique, lumineuse, etc.. L'autre, l'énergie réactive sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteurs, autotransformateurs, etc.). Par ailleurs, certains constituants des réseaux électriques de transport et de distribution (transformateurs, lignes, etc.) consomment également dans certains cas d'exploitation de l'énergie réactive.

## II. 2. La puissance réactive :

Dans ce chapitre, une compréhension des puissances réactives associées aux réseaux de transport d'énergie électrique est développée. Pour faire fonctionner les réseaux de transport dans les limites de tension désirée, des procédés de fabrication en place ou retirer réactive-power-après dénommé le contrôle de puissance réactive sont discutées. Avant d'aller plus loin, cependant, une connaissance approfondie de la puissance réactive dans les réseaux à courant alternatif est nécessaire.

Après mise sous tension, les réseaux à courant alternatif et les périphériques connectés à les créer associés variables dans le temps des champs électriques liés à la tension appliquée, ainsi que les champs magnétiques dépendant du courant. En s'accumulant, ces champs stockent l'énergie qui est libérée lors de leur effondrement. En dehors de la dissipation d'énergie dans les composants résistifs, tous les dispositifs d'énergie et d'attelage, y compris les transformateurs et les dispositifs de conversion d'énergie (par exemple, les moteurs et groupes électrogènes), d'exploiter en fonction de leur capacité à stocker et libérer l'énergie.

Pour le circuit de courant alternatif sur la Fig. (II-1) (a), la puissance instantanée de la source de tension à la charge  $Z < \phi$ , en termes de  $v$  tension instantanée et du courant  $i$ , est donnée comme suit :

$$p = vi$$

Dans un état stable :

$$v = V_{\max} \cos(\omega t) \text{ et } i = I_{\max} \cos(\omega t - \phi) \quad (\text{II-1})$$

$$p = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} [\cos\phi + \cos(2\omega - \phi)] = VI \cos\phi (1 + \cos 2\omega t) + VI \sin\phi \sin 2\omega t \quad (\text{II-2})$$

Où  $V$  et  $i$  sont à l'origine respectifs quadratique moyenne (rms) des valeurs de  $v$  et  $i$ . Les équations (II. 1) et (II. 2) sont graphiquement représentées dans la Fig.II.1 (b). L'équation (II-2) se compose de deux composantes de double-fréquence ( $2\omega$ ). Le premier terme à une valeur moyenne ainsi que d'une valeur de pointe ( $VI \cos\phi$ ). Cette valeur moyenne est la puissance active,  $P$ , qui coule de la source à la charge. Le second terme ha System Représente la puissance réactive instantanée de valeur de pointe  $UI \sin \phi = Q$ , et la valeur moyenne nulle.

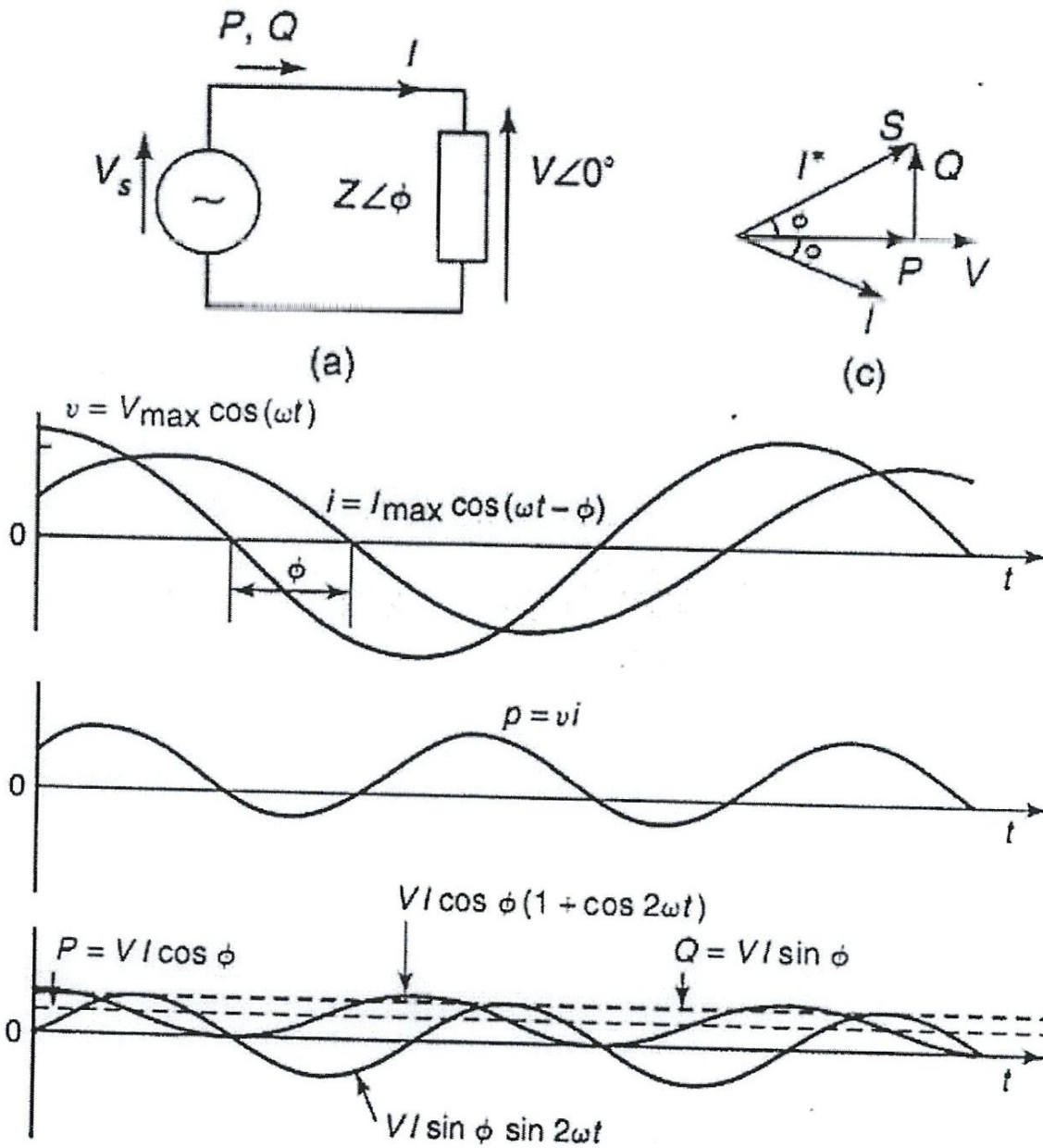


Fig. II. 1. Les paramètres électriques dans un réseau à courant alternatif.

La puissance complexe dans le réseau de la fig.II.1 (a) est donné par :

$$S = \overline{VI}^* = P + jQ = VI \cos\phi + jVI \sin\phi \quad (\text{II. 3})$$

En comparant les équations(II.3) et (II.2).la valeur crête de la deuxième composante de la puissance instantanée de l'équation (II.2) est identifiée comme étant la puissance réactive.

La puissance réactive est indispensable pour créer les champs nécessaires pour les dispositifs de couplage de l'énergie. Il constitue le chargement tension et de courant des circuits, mais ne conduit pas à une moyenne (actif) et la consommation d'énergie est en fait, un élément important dans tous les réseaux à courant alternatif. Dans les réseaux de grande puissance, puissances active et réactive sont mesurées en mégawatts (MW) et MVAR, respectivement.

### **II. 3. But de compensation :**

Le flux de circulation de la puissance réactive dans les réseaux électriques présente cette particularité caractéristique de rendre flexible leurs régimes. En effet, installant les compensateurs dans les nœuds des réseaux, on peut diminuer la valeur de la puissance réactive de transit pour la conformer aux normes technico-économique et opérer en fonction de la variation de la charge requise des régulations d'optimisation par le contrôle de sa distribution.

Les types et les principes de fonctionnement des compensateurs peuvent être divers. L'utilisation de tel ou type de compensateur tel dépend des avantages qu'il présente dans la hiérarchie de système.

On distingue d'une façon générale, les compensateurs synchrones, les batteries de condensateurs, les compensateurs statiques à thyristors. L'introduction de semis conducteur

Contrôle centralisé de la tension.

dans la commande des compensateurs a permis de rendre plus avantageuses les sources statique de la puissance réactive.

#### **II. 4. Les différentes sources de l'énergie réactive :**

Il existe plusieurs sources de génération et d'absorption de l'énergie réactive, hormis la puissance réactive générée par les centrales électriques, les réseaux nécessitent d'autres sources qui compensent les pertes éventuelles dans les lignes électriques.

##### **II. 4. 1. Les lignes électriques :**

Les lignes électriques sont des points de vue électrique équivalentes à des inductances qui consomment de l'énergie électrique ; ce qui demande l'installation des compensateurs qui compense cette puissance perdue, et cela par l'installation des capacités shunts dans les endroits bien déterminés.

Il est évident que les lignes qui fonctionnent à vide ou en dessous de leurs puissance nominale (sous chargé) sont des sources de génération de l'énergie réactive, alors que celles qui fonctionnent de leurs puissance nominale (surchargée) sont des sources d'absorption de l'énergie réactive.

##### **II. 4. 2. Les centrales (groupe de génération) :**

Ce sont les principales sources d'énergie réactive vu la puissance réactive importante qu'elles absorbent (des dizaines de MVAR)

Toute fois ces énormes générateurs des puissances réactives ne compensent que partiellement les charges réactives et cela en raison des chutes de tension importantes engendrées par les transites d'énergies réactives. De même un générateur sous excite absorbe du réactif (inductance) ; alors qu'un générateur surexcite génère de réactive.

##### **II. 4. 3. Groupes thermiques et hydrauliques :**

Ils jouent un rôle essentiel dans le contrôle de la tension et de la compensation de l'énergie réactive, ils constituent en effet, les sources de tension du réseau grâce à la force électromotrice (FEM) de l'alternateur. Ils peuvent de plus échanger des quantités.

Contrôle centralisé de la tension.

#### **II. 4. 4. Les compensateurs :**

Il existe plusieurs moyens qu'on peut utiliser pour la compensation de l'énergie réactive dans les réseaux électriques.

##### **II. 4. 4. a. Compensateurs synchrones (moteurs) :**

Le principe ces compensateurs est basé sur le fonctionnement d'une machine à vide. En effet lorsqu'une machine synchrone tourne à vide, si elle est surexcitée (respectivement sous excitée) elle produit (respectivement absorbe) de la puissance réactive.

Ce compensateur ne fournit aucune puissance active donc il joue le rôle respectif d'une capacité ou d'une conductance variables, ce qui permet de régler la puissance réactive transmise dans les lignes. Ce type de compensateur est branché en globale.

- **les avantages :**

- Une grande puissance dans une unité (de 5 jusqu'à 350 mvar).
- La possibilité de réglage continu et automatique de la puissance réactive fournie.
- La puissance réactive fournie ne dépend pas de la tension d'alimentation.
- Coût initial élevé.
- Machine tournante demande en entretien.
- Perte active relativement importantes.

#### **Les inconvénients :**

- Les grandes pertes d'énergie active (1.5-2.5%)
- Un grand prix spécifique d'un KVAR.
- La complexité d'exploitation.

#### II. 4. 4. b. Compensateurs statiques :

Ils sont dits statiques car ils ne contiennent aucune machine tournante. Ces compensateurs sont constitués d'un ensemble de condensateurs et inductance commandées par des thyristors. Vu leurs temps de réponse très petits, ils sont utilisés pour le réglage de la tension dans les zones isolées et éloignées des centres de production et ils permettent aussi de réduire les perturbations aléatoires créées par les consommateurs.

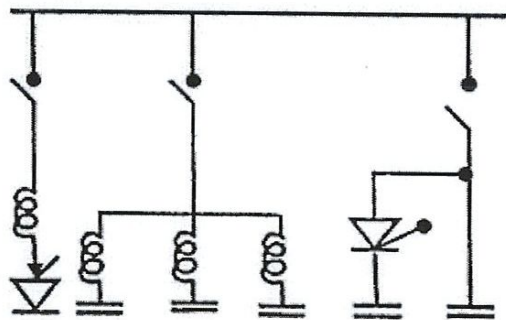


Figure. II. 2

#### II. 5. Batteries de condensateurs :

Les batteries de condensateurs (B-C) sont souvent utilisées dans les réseaux de distribution pour le réglage de la puissance réactive et de la tension. Elles peuvent être utilisées dans les systèmes à tension jusqu'à 110KV. En général une batterie est constituée par un système de condensateurs branchés en combinaison série/ parallèle

Selon la disposition des condensateurs sur le réseau électrique, on peut distinguer deux types de compensation : compensation shunt et compensation série.



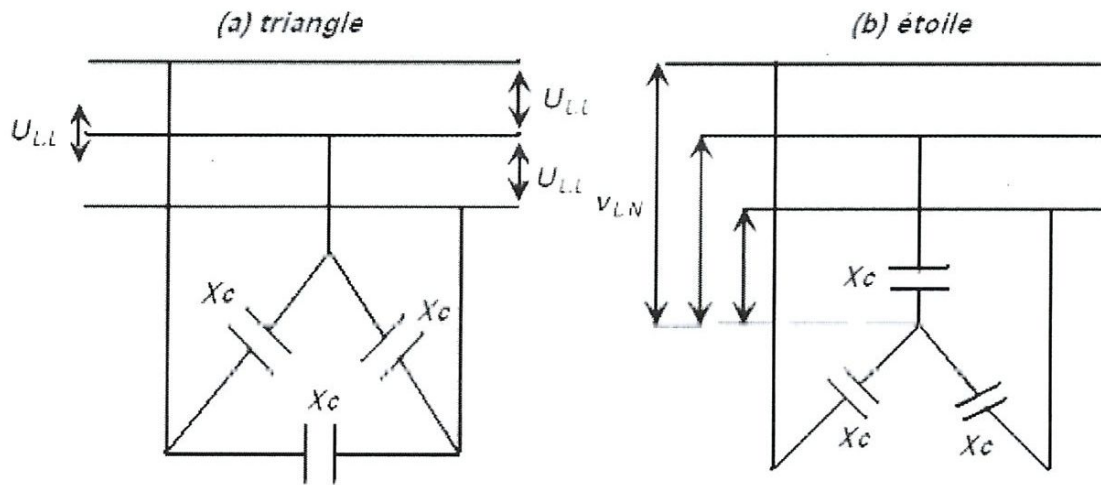
### II. 5. 1. Compensation shunt :

Les condensateurs de puissance sont le plus souvent installés en dérivation sur le réseau, pratiquement ils sont connectés aux bornes du réseau suivant un couplage triangle ou étoile. Les condensateurs fournissent à la pulsation  $\omega = 2\pi f$  : une puissance réactive

$$Q_c = \frac{U^2}{x_c} = \frac{U^2}{\frac{1}{\omega C}} = U^2 \omega C \quad (\text{II. 4})$$

Ou  $U$  : tension de réseau.  $C$  : capacité du condensateur.

**II. 5. 1. a. Mode de couplage des batteries condensateur :**



Le branchement des batteries de condensateur peut être réalisé en étoile comme en triangle, lors du couplage en triangle la puissance réactive fournie est trois fois celle fournie par un couplage étoile :

$$\left. \begin{array}{l} Q_{c\Delta} = U^2\omega C \\ Q_{cy} = U^2\omega C \end{array} \right\} \frac{Q_{c\Delta}}{Q_{cy}} = \frac{U^2s}{U^2} = \frac{3U_s}{U_s} = 3 \quad (\text{II. 5})$$

**II. 5. 1. b. Protection des batteries shunt :**

D'une façon générale on peut distinguer deux type de protection :

- Protection individuelle du condensateur :

Protection par fusible : elle est couramment utilisée lorsque la batterie conçue avec des appareils monophasés.

- Protection globale des batteries :

Trois systèmes sont couramment employés : fusible, disjoncteurs et relais de déséquilibre.

### **II. 5. 1. c. Avantage et inconvénients des batteries shunt :**

- **Avantage :**
  - Des petites pertes de la puissance active.
  - La simplicité de l'exploitation.
  - Peuvent être installées au voisinage des utilisateurs.
  - Évitent de transit réactif dans les lignes (moins de chute de tension, augmentation de la capacité de transport).
  
- **Inconvénients :**
  - réglage discontinu, coût initial élevé, courant de décharge subtransitoire très élevé.
  - réglage négatif impossible.

### **II. 5. 2. Compensateur série :**

Les condensateurs sont placés en série sur la ligne (fig.II.4) dont ils compensent partiellement la réactance. Les compensateurs série sont peu utilisés sur les réseaux à moyenne et haute tension, par contre sur les réseaux de transport à grande distance sous des tensions supérieures à 220KV leur utilisation est fréquente avec une puissance unitaire importante.

Ces batteries jouent plusieurs rôles :

- Améliorer la stabilité du système (tension, fréquence).
- Réduire ou annuler les chutes de tension.
- Répartition des charges dans le cas de lignes fonctionnant en parallèle.

Maintien de la tension d'un réseau à facteur de puissance normale ou faible

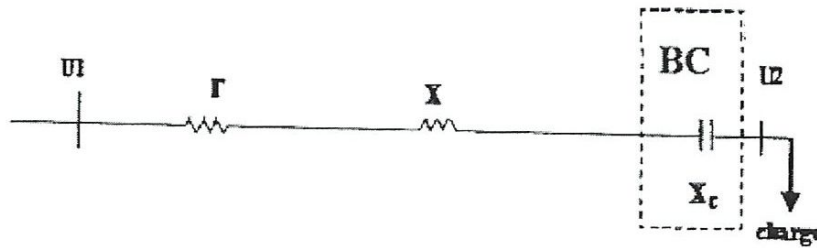


Fig. II. 4

### II. 5. 2. a. Protection des batteries série :

En régime de court-circuit le courant qui traverse les batteries de condensateur devient très grande et la tension aux bornes du condensateur risque de dépasser la valeur de charge c'est pour cela qu'on fait appel à des dispositifs limitant les surtensions (éclateurs, court-circuiteurs), mais aussi les batteries de condensateurs série sont soumises à des contraintes très dures.

### II. 5. 2. b. Les avantages et les inconvénients des batteries condensateurs :

- **Avantage :**
  - Améliorer la stabilité dans certains cas.
  - permettent de réduire les chutes de tension.
- **Inconvénients :**
  - Nécessite des systèmes de protection coûteux.
  - Peut provoquer des installations.

### II. 5. 3. Compensation par batteries en gradins :

#### II. 5. 3. a. Utilisé et principe :

Les réseaux publics de distribution utilisent de plus des batteries en gradins pour répondre aux variations journalières de la puissance réactive absorbée par la clientèle (moteur asynchrones, variateur de vitesse et autres équipements domestiques ou industriels). En effet maintenir le bilan instantané de puissance réactive entre des limites déterminées.

Les batteries de condensateurs sont donc fractionnées en gradins, qui sont mis sous tension au hors tension pour suivre l'évolution de la demande et maintenir la tension dans la plage fixée.

Si la compensation doit être fractionnée, on utilise une batterie à gradins, chaque gradin est constitué de la même manière qu'une batterie fixe.

Chaque gradin possède son propre appareil de manœuvre, mais le disjoncteur peut être commun à l'ensemble de la batterie s'il n'y a pas d'inconvénient à mettre hors tension toute la batterie lorsqu'un défaut se produit dans un gradin.

Si la mise en parallèle de plusieurs gradins est effectuée sous tension, il est nécessaire de placer des inductances de limitation de courant de chaque gradin

### **II. 5. 3. b. Commande des gradins :**

La commande des gradins peut être effectuée de différentes manières en fonction des besoins de compensation. Notons que les utilisateurs industriels optent pour une commande

Par relais var métrique, par relais à seuil de courant ou de puissance, par régulateur automatique du facteur de puissance. Dans ce cas il est nécessaire de s'assurer que la sensibilité du système est correcte et que la fréquence de manœuvre ne conduit pas à une usure prématurée du matériel.

- **Inconvénients :**

Le doublement du nombre des fluctuations de tension qui résulte du retard d'action de la compensation en gradin : toute variation de charge provoque une première variation de tension, suivie de celle, en sens inverse due à l'action des gradins.

Il faut mentionner également que chaque enclenchement de gradin provoque un bref mais violent appel de courant qui réduit de vie des contacts de disjoncteurs et celle des condensateurs. Cela peut être significatif si le nombre de manœuvre atteint quelques dizaines par jour.

### **II. 5. 3. Inductances :**

Elles sont utilisées pour compenser (réduire) l'énergie réactive fournie pendant les heures creux et cela des lignes (THT) et les réseaux souterrains. Elles sont raccordées soit directement soit secondaire (tertiaire) des transformateurs et permettent une limitation des surtensions.

- **Avantage :**

Utile dans les cas où il y a trop de puissance réactive produite par les câbles et les lignes à haute tension.

- **Inconvénients :**

- Réglage positif impossible,
- pertes active non négligeables.

## **II. 6. Mode de compensation :**

La compensation peut être globale, par secteur (partielle) ou individuelle. En principe la compensation idéale est celle qui permet de produire l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée et en quantité ajustée à la demande. Ce mode de compensation est très coûteux, on cherchera donc, dans la pratique un optimum technico-économique.

### **II. 6. 1. Compensation globale :**

La batterie est raccordée en tête d'installation (fig.II.5) et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. Elle reste en service de façon permanente pendant la période de facturation de l'énergie réactive pour un fonctionnement normal du site.

Cette compensation globale convient lorsque la charge est régulière. Le courant réactif circule dans l'installation du niveau 1 jusqu'aux récepteurs. Les pertes par effet joule (KWH) et les chutes de tension dans les canalisations situés en aval de la batterie ne sont pas diminuées. Ce type de compensation peut suivre le cas :

- Supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive,
- diminuer la puissance apparente en l'ajustant au besoin en puissance active de l'installation.
- Augmenter la puissance active disponible du transformateur de livraison.

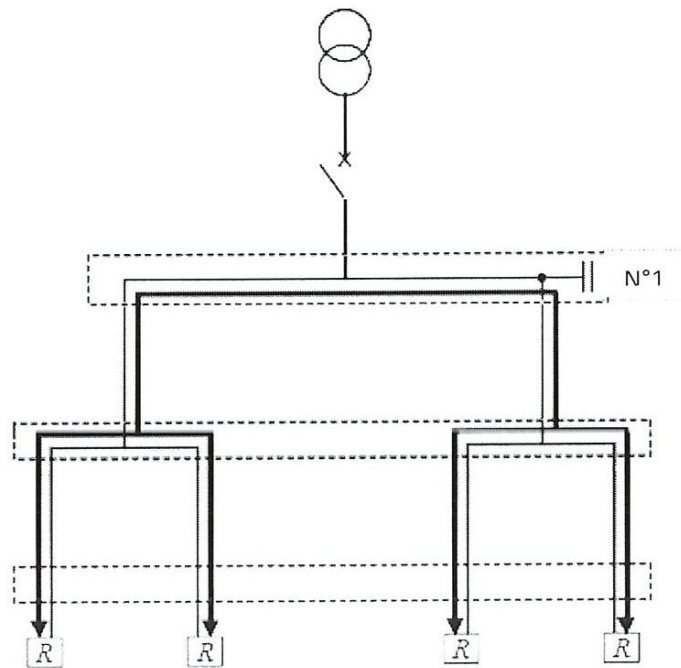


Fig. II. 5. compensation globale

### II. 6. 2. Compensation par secteur :

La batterie est raccordée au schéma de distribution (fig.II.6) et fournit l'énergie réactive demandée par un secteur de l'installation. Une grande partie de l'installation est soulagée, en particulier les canalisations alimentant chaque secteur.

Une compensation par secteur est conseillée lorsque l'installation est étendue et comporte les secteurs à forte consommation d'énergie réactive.

Le courant réactif circule dans l'installation du niveau 2 jusqu'aux récepteurs. Les pertes par effet joule (KWH) et les chutes de tension dans les canalisations reliant le niveau 2 au niveau 1 sont diminuées.

Ce type de compensation :

- Supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.
- Optimise une partie du réseau, le courant réactif n'étant pas véhiculé entre les niveaux 1 et 2.

-Augmente la puissance active disponible du transformateur et la puissance active qui peut être véhiculée dans les canalisations situées en amont du secteur compensé.

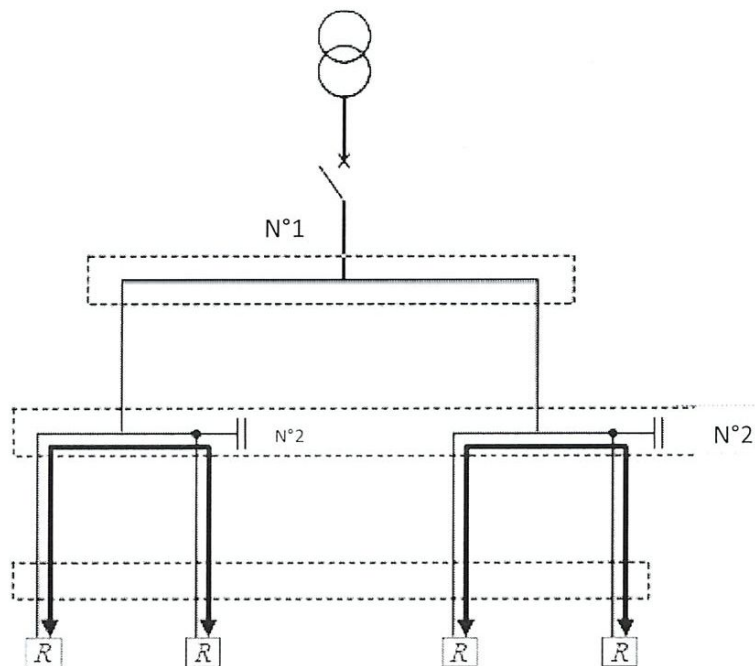


Fig. II. 6. Compensation partielle

• **Remarque :**

Il y a un risque de surcompensation en cas de variations importantes de la charge- ce risque peut être éliminé par l'installation de batterie en gradins).

**II. 6. 3. Compensation individuelle :**

La batterie est raccordée directement aux bornes du récepteur fig.II.7, la compensation individuelle est à envisager lorsque la puissance du récepteur est importante par rapport à la puissance du transformateur. C'est le type de compensation qui offre le plus d'avantages et qui est le plus coûteux. Le courant réactif n'est plus véhiculé dans les canalisations de l'installation.

Lorsqu'elle est possible, cette compensation produit l'énergie à l'endroit où elle est consommée et en quantité ajustée aux besoins. Ce type de compensation :

-Supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.



- Augmente la puissance active disponible du transformateur et la puissance active qui peut être véhiculée dans les canalisations situées en amont du récepteur.
- réduit les pertes par effet Joule (KWH) et les chutes de tension dans les canalisations entre le niveau 3 et le niveau 1

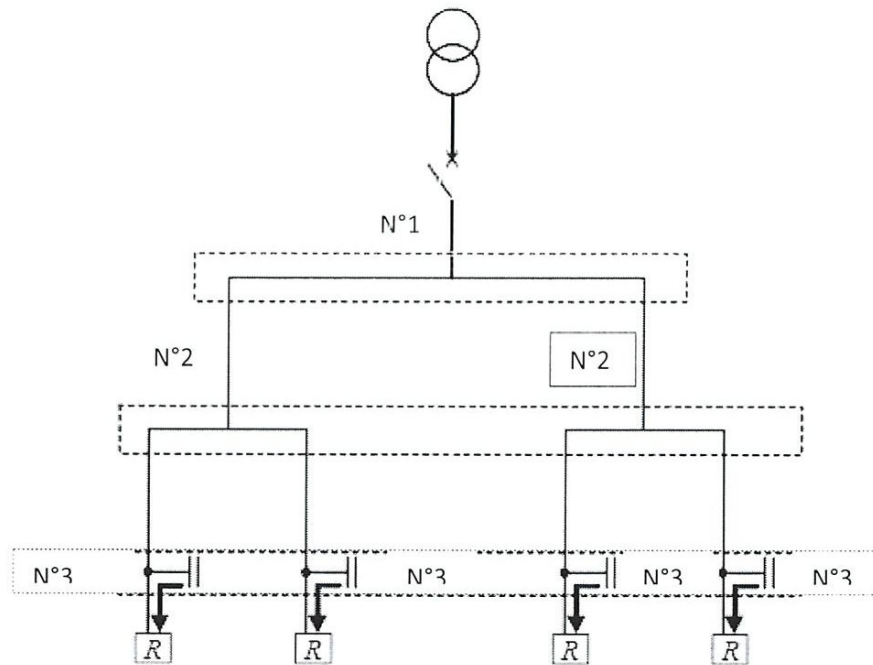


Fig. II. 7. Compensation individuelle.

## II. 7. Compensateur statique de puissance ou FACTS :

### II. 7. 1. Définition:

Selon l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), la définition du terme FACTS est la suivante: Systèmes de Transmission en Courant Alternatif comprenant des dispositifs basés sur l'électronique de puissance et d'autres dispositifs statique utilisés pour accroître la contrôlabilité et augmenter la capacité de transfert de puissance du réseau.

Avec leurs aptitudes à modifier les caractéristiques apparentes des lignes, les FACTS sont capables d'accroître la capacité du réseau dans son ensemble en contrôlant les transits de puissances. Les dispositifs FACTS ne remplacent pas la construction de nouvelles lignes. Ils sont un moyen de différer les investissements en permettant une utilisation plus efficace du Contrôle centralisé de la tension.

réseau existant. Les dispositifs FACTS, peuvent aider à s'affranchir de ces contraintes, C'est une alternative très favorable du point de vue technique, économique et environnement.

Les dispositifs FACTS sont insérés dans un réseau pour satisfaire plusieurs besoins tels que :

- Améliorer le contrôle de la tension et la stabilité du réseau.
- Réduire des pertes actives totales.
- Compenser l'énergie réactive.
- Amortir les oscillations de puissance.
- Augmenter la capacité de transport de la puissance active.
- Maîtriser la répartition et les transits des puissances.
- Améliorer des oscillations de puissance et de tension susceptibles d'apparaître dans les réseaux à la suite d'un défaut.
- Améliorer la stabilité électromécanique des groupes de production.
- permettre un meilleur contrôle et une meilleure gestion de l'écoulement de Puissance.
- augmenter la capacité de transmission de puissance des lignes en s'approchant des limites thermiques de celle-ci.

Les dispositifs FACTS permettent donc un contrôle amélioré des systèmes électriques déjà en place. Ces dispositifs font en général appel à de l'électronique de puissance. Ces éléments agissent en fait comme des impédances dont la valeur change en fonction de l'angle d'amorçage. Cet angle d'amorçage constitue donc une variable de commande du système.

Pour les différentes raisons évoquées dans l'introduction générale, les dispositifs FACTS ont un rôle important à jouer dans le contrôle des transits de puissance et dans le maintien de conditions d'exploitation sûres du réseau de transport. Ce chapitre a pour but de mettre en évidence les caractéristiques et le potentiel des différents FACTS développés à ce jour.

Ils utilisent les éléments et les propriétés suivantes

Il commence par un bref rappel sur les différentes techniques de compensation (shunt, série et shunt-série). Le concept FACTS est ensuite présenté de manière générale et une classification des dispositifs est proposée.

## II. 7. 2. Les systèmes classiques à thyristors :

### - II. 7. 2. a. Les systèmes hybrides :

- Cette classe, qualifiée des systèmes mixtes ou hybrides, est constituée par des systèmes de contrôle classique (transformateurs à prise réglables, bancs de condensateur...) dans lesquels des interrupteurs mécaniques sont remplacés par des interrupteurs électroniques utilisant le thyristor comme élément de commutation.

Ces derniers temps, des bancs de condensateurs en gradins, mis en ou hors service par des commutateurs à thyristors places en parallèle pour réaliser une compensation de type série ont connu du développement important. Ils sont connus sous l'appellation TSSC (Thyristors Switched Séries capacitor).

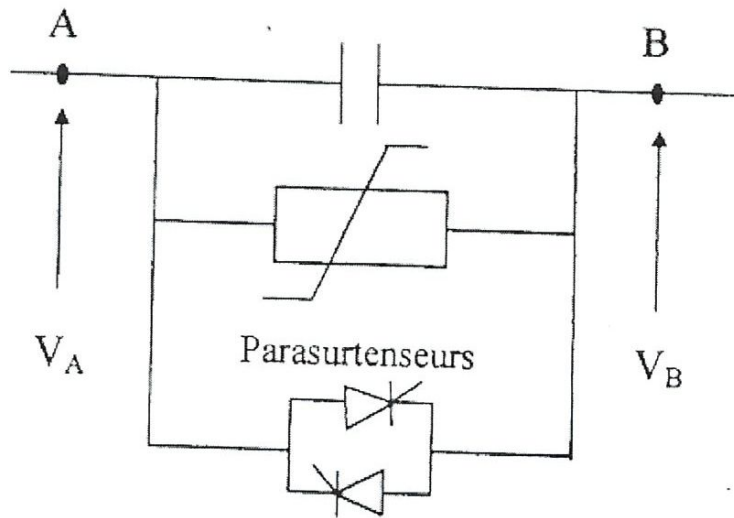


Fig. II. 8. Schéma de principe de TSSC

De puissantes installations de ce type sont en fonctionnement un peu partout dans le monde , notamment à la sous-station Kanawha River de réseau américain Electric power (AEP) depuis 1991. ce type d'installation (usa) manuellement à partir d'un centre de contrôle, réalise la compensation d'une ligne de 345KV de 0 à 60%, par pas de 10%, pour éviter la surcharge de cette ligne et d'une parallèle de 138KV en cas de perte d'une ligne principale de 765KV.

Contrôle centralisé de la tension.

### **II. 7. 2. b. Les systèmes à gradateurs :**

Cette classe met en œuvre le gradateur en courant alternatif pour réaliser une réactance variable, contrôlée par thyristors, associée à un banc de condensateurs commutés par thyristors. Le contrôle de la réactance est réalisé par modification de l'instant d'allumage des thyristors. Les condensateurs sont commutés par fonctionnement des thyristors en interrupteur idéal, avec coupure au passage par zéro du courant et enclenchement au passage par zéro de la tension.

Ces systèmes en pratique utilisent le compensateur statique de puissance réactive ou SVC (Static Var Compensator) à placer en parallèle sur le circuit à compenser.

## **II. 8. Compensateur statique de puissance réactive ou SVC :**

### **II. 8. 1. Définition du SVC :**

Le compensateur statique de puissance réactive SVC (Static Var Compensator) est un dispositif qui sert à maintenir la tension en régime permanent et en régime transitoire à l'intérieur de limites désirées. Le SVC injecte de la puissance réactive dans la barre où il est branché de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge.

### **II. 8. 2. Structure de principe :**

La figure (II .9) donne une représentation schématique monophasée d'un compensateur statique shunt. Il est composé d'un condensateur de réactance " $X_c$ " dont la puissance réactive fournie peut être complètement enclenchée ou complètement déclenchée et d'une bobine d'induction de réactance inductive " $X_L$ " dont la puissance réactive absorbée est commandée entre zéro et sa valeur maximale par des thyristors montés en tête-bêche pour assurer des inversions très rapides du courant.

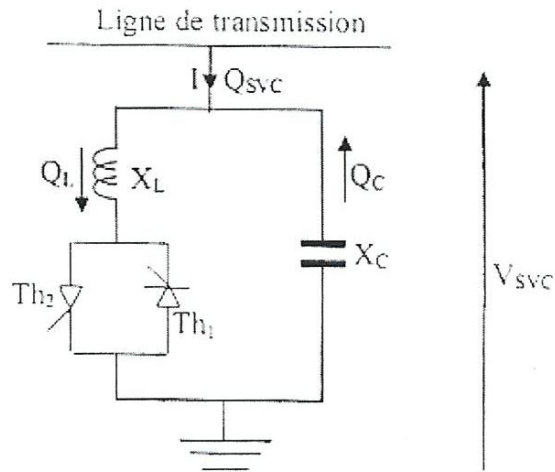


Fig. II. 9. Représentation schématique monophasée d'un compensateur Statique.

Pour fixer le signe de puissance réactive  $Q_{svc}$ , le compensateur est considéré comme un commutateur. La puissance réactive  $Q_{svc}$  est positive

Lorsqu'elle est absorbée par le compensateur (comportement inductif), le courant d'entrée  $I$  est un courant réactif, il est supposé positif lorsqu'il est retardé de  $90^\circ$  par rapport à la tension  $V_{svc}$ . Si par contre, le compensateur fournit de la puissance réactive (comportement capacitif), cette dernière est considérée comme étant négative, ainsi que le courant  $I$ . Ces relations sont prises en compte sur la fig.II.9. Par conséquent, la puissance réactive  $Q_L$  est positive alors que la puissance réactive  $Q_c$  est négative.

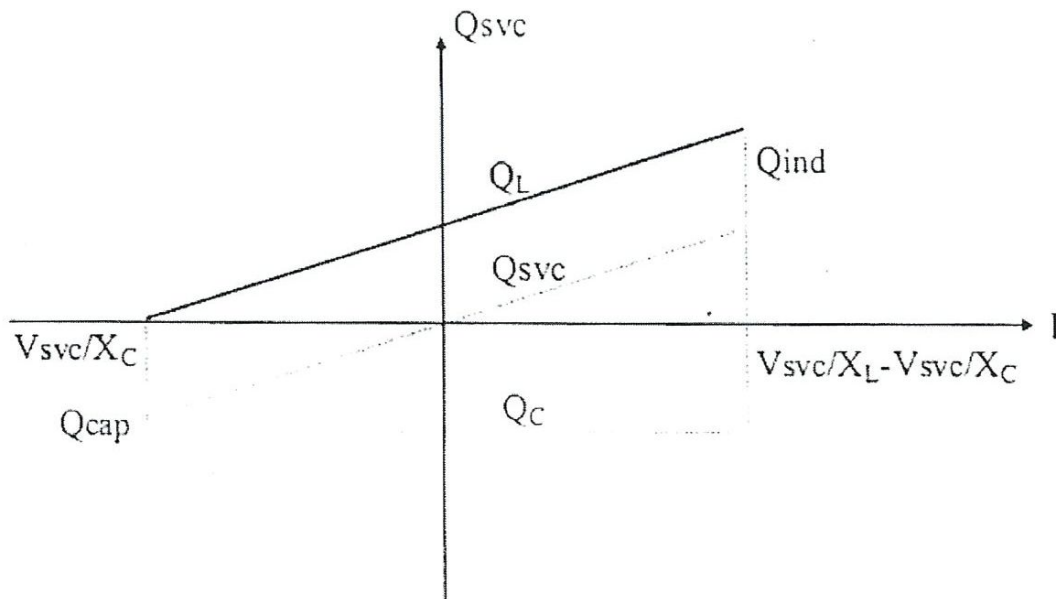


Fig. II. 10.Exigences posées à la puissance réactive.

La puissance réactive  $Q_{SVC}$  varie entre une valeur inductive " $Q_{ind}$ " et une valeur capacitive " $Q_{cap}$ ", avec:

$$Q_{cap} = \frac{V_{SVC}^2}{X_c} \quad (II. 6)$$

On obtient alors la réactance capacitive  $X_c$  nécessaire pour le condensateur. De la relation suivante, on peut déterminer la réactance  $X_L$  de la bobine d'inductance

$$Q_{ind} = \frac{V_{SVC}^2}{X_L} - \frac{V_{SVC}^2}{X_c} \quad (II.7)$$

Les relations se rapportent à une phase du compensateur triphasé.

### II. 8. 3. Constitution du SVC :

Le compensateur statique SVC est composé de plusieurs éléments tel que le condensateur fixe(FC), qui est commandé par des éléments mécaniques; d'une réactance commandée par thyristors (TCR), et de condensateurs commutés par des thyristors (TSC), et parfois de réactance commutée par thyristors (TSR), et des filtres d'harmoniques.

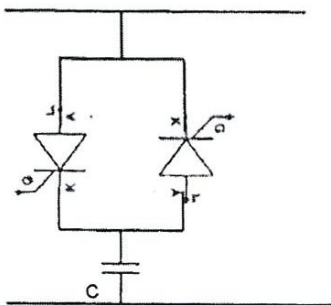


Fig. II. 11 TSC

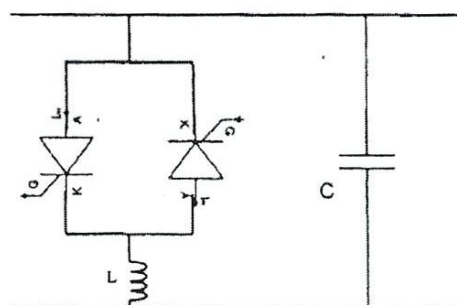


Fig. II. 12 TSR

# Chapitre 3

ORGANISATION DE LA COMPENSATION  
DANS UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION.

### III. 1. Présentation du problème :

Les centres de charge sont alimentés par un réseau électrique radial-magistral de tension nominale  $U_N = 30 \text{ kv}$  . La source d'alimentation est une sous station de transformation (S/S.TR) réglable (fig III.1), tel que la tension l'écart de réglage au niveau de nœud «A » puisse atteindre

$$V_A = V_0 = 20\% U_N$$

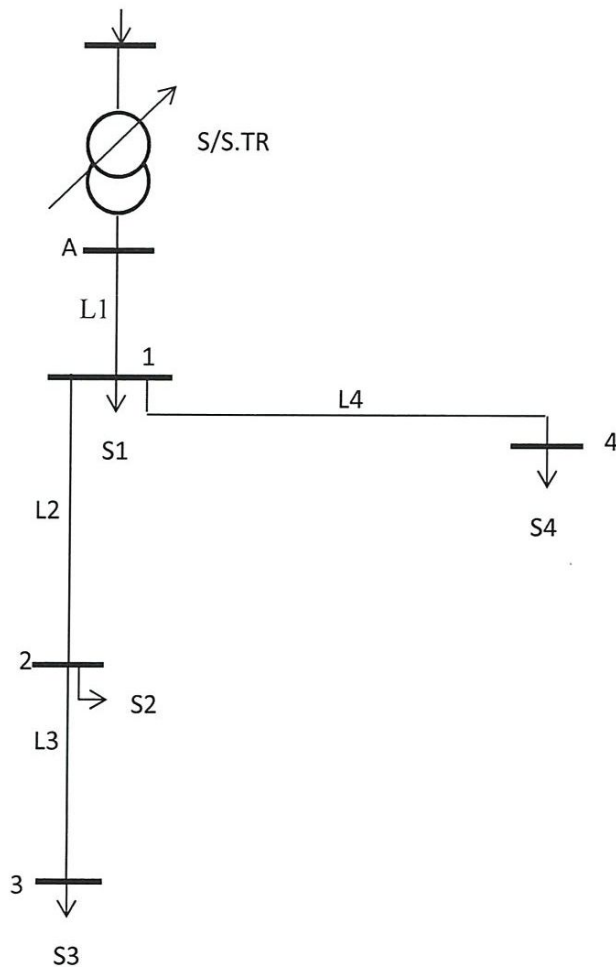


Fig. III. 1. Réseau étudié



Pour l'étude et le contrôle de la tension on dispose des données saisies dans le tableau (III. 1) les puissances du consommateur sont représentées séparément sous forme de graphiques de charges variables sur une période de temps T subdivisé en quatre intervalles supposés égaux (fig. III. 2)

i	(1)	(2)	(3)	(4)
$l_i^*$ km	4	8	6	10
intervalle	$S_i$ MVA			
I	10+j8	6+j4	15+j12	12+j10
II	5+j4	3+j2	7.5+j6	6+j5
III	6+j4	6+j4	15+j12	16+j14
IV	6+j4	3+j2	18+j14	16+j14

Tab. III. 1

(\*)- On adopte ;  $r_0 + jx_0 = (0.5 + j1)x_0$  ;  $x_0 = 0.4 \frac{\Omega}{\text{km}}$  pour tout le réseau

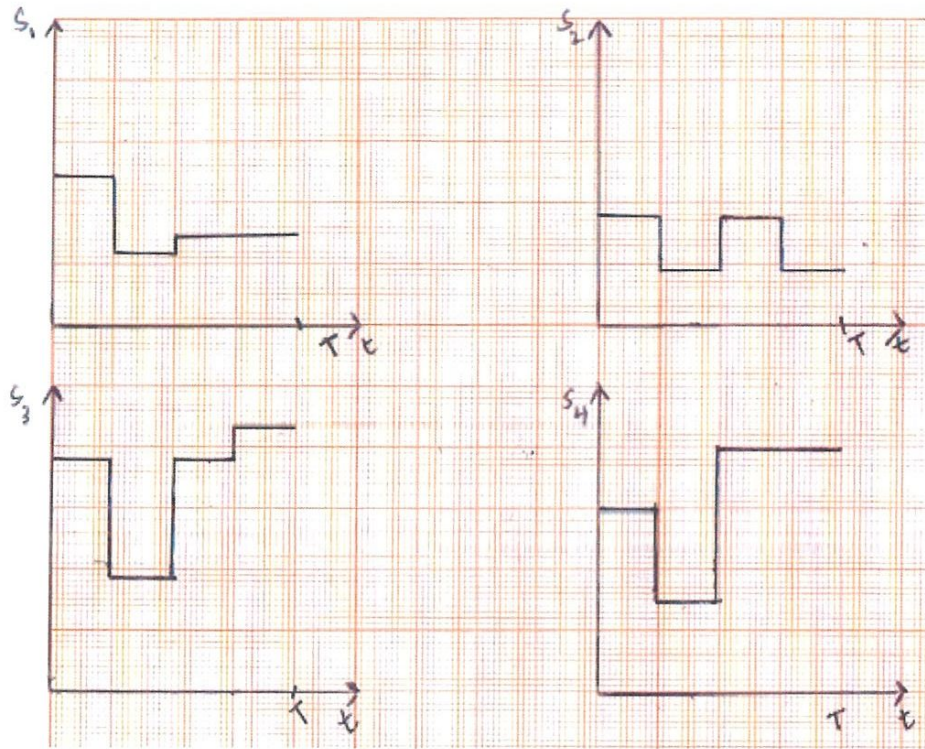


Fig. III. 2. Graphique de charges.

On exige que l'écart de la tension dans les nœuds (1), (2), (3) et (4) doit être maintenu tel que (fig. III. 3)

c-à-d

$$\left\{ \begin{array}{l} -0.05 \leq \Delta U_i^* \leq 1.025 \\ -5\% \leq \Delta U_i^* \% \leq 2.5\% \end{array} \right. \quad (\text{III. 1})$$

Il est donc nécessaire d'opérer du point vue tension, une analyse de comportement réel du réseau électrique afin de prévoir les moyens pour réaliser les écarts normalisés.

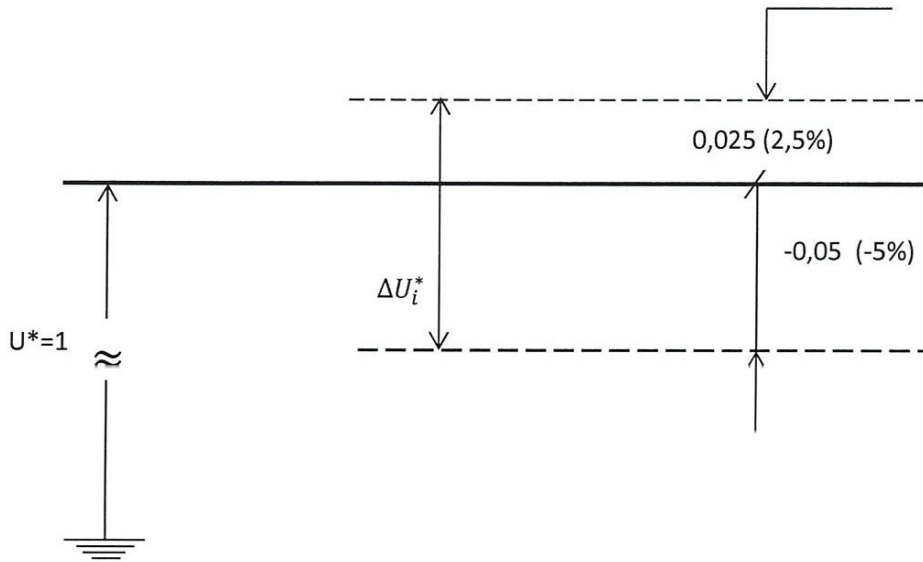


Fig. III. 3. Ecarts admissibles.

### III. 2. Calcul des pertes de la tension :

Les pertes de la tension dans un réseau de distribution peuvent être calculées par la formule

$$\Delta U_{i,j} = \frac{1}{U_N} \sum_{i=1}^N (P_k r_k + Q_k x_k) \quad (\text{III. 2})$$

Où :

$\Delta U_{i,j}$  -Pertes de la tension entre les nœuds, i et j ; N- nombres de branche entre i et j ; k numéro de la branche.

#### III. 2. 1. Ligne : A-1-4 :

- Intervalle I :

$$\Delta U_{A1} = \frac{x_0 l_1}{U_N} \left[ 0.5 \sum P_i + \sum Q_i \right] = \frac{0,4 \cdot 4}{30} \left( \frac{43}{2} + 34 \right) = 2,96 \text{ kv (9,8\%)}$$

Contrôle centralisé de la tension.

$$\Delta U_{14} = \frac{x_0 l_4}{U_N} \left[ \frac{1}{2} P_4 + Q_4 \right] = \frac{0,4 \cdot 10}{30} \left( \frac{1}{2} 12 + 10 \right) = 2,133 \text{ kv (7,2\%)}$$

$$\Delta U_{A14} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{14} = 5,1 \text{ kv (17\%)}$$

- **Intervalle II :**

Puisque les puissances ont diminué de deux fois, on obtient immédiatement,

$$\Delta U_{A1} = 1,48 \text{ kv (4,93\%)}$$

$$\Delta U_{14} = 1,066 \text{ kv (3,55\%)}$$

Et

$$\Delta U_{A14} = 2,546 \text{ kv (8,5\%)}$$

- **Intervalle III :**

$$\Delta U_{A1} = \frac{0,4 \cdot 4}{30} \left( \frac{1}{2} 43 + 34 \right) = 2,96 \text{ kv (9,8\%)}$$

$$\Delta U_{14} = \frac{0,4 \cdot 10}{30} \left( \frac{1}{2} 16 + 14 \right) = 2,93 \text{ kv (9,77\%)}$$

$$\Delta U_{A14} = 5,89 \text{ kv (19,57\%)}$$

• **Intervalle IV :**

$$\Delta U_{A1} = \frac{0,4}{30} \cdot 4 \left( \frac{1}{2} \cdot 43 + 34 \right) = 2,96 \text{ kv (9,8\%)}$$

$$\Delta U_{14} = \frac{0,4}{30} \cdot 10 \left( \frac{1}{2} \cdot 16 + 14 \right) = 2,93 \text{ kv (9,77\%)}$$

$$\Delta U_{A14} = 5,89 \text{ kv (19,57\%)}$$

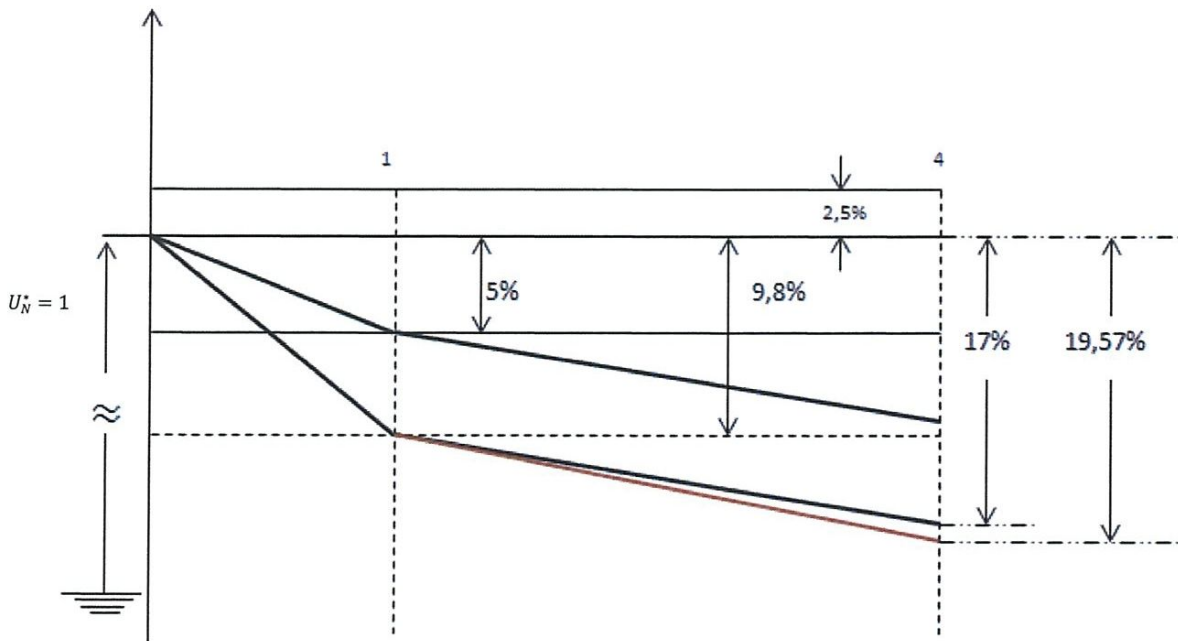


Fig. III. 4. Partes de tension en régime initial.

En régime initial non compensé, la tension dans les nœuds sort excessivement des limites admissibles.

### III. 2. 2. Ligne magistrale A-1-2-3 :

- **Intervalle I :**

Le tronçon A-1 est commun aux deux lignes :

$$\Delta U_{A1} = 9,8\%$$

$$\Delta U_{12} = \frac{0,48}{30} \left( \frac{1}{2} 21 + 16 \right) = 2,826 \text{ kv (9,42\%)}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{0,46}{30} \left( \frac{1}{2} 15 + 12 \right) = 1,56 \text{ kv (5,2\%)}$$

$$\Delta U_{A123} = 9,8\% + 9,42\% + 5,2\% = 24,48\% (7,346 \text{ kv})$$

- **Intervalle II :**

$$\Delta U_{A1} = 1,48 \text{ kv (4,93\%)}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{0,48}{30} \left( \frac{1}{2} 10,5 + 8 \right) = 1,41 \text{ kv (4,71\%)}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{0,46}{30} \left( \frac{1}{2} 7,5 + 6 \right) = 0,78 \text{ kv (2,6\%)}$$

$$\Delta U_{A123} = 4,93 + 4,71 + 2,6 = 12,24\%$$

- **Intervalle III :**

$$\Delta U_{A1} = 2,96 \text{ kv (9,8\%)}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{0,48}{30} \left( \frac{1}{2} 21 + 16 \right) = 2,826 \text{ kv (9,42\%)}$$

$$\Delta U_{23} = 1,56 \text{ kv (5,2\%)}$$

$$\Delta U_{A123} = 24,48\% (7,346 \text{ kv})$$

- **Intervalle IV :**

$$\Delta U_{A1} = 2,96 \text{ kv (9,8\%)}$$

$$\Delta U_{12} = 2,826 \text{ kv (9,42\%)}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{0,46}{30} \left( \frac{1}{2} 18 + 14 \right) = 1,84 \text{ kv (6,13\%)}$$

$$\Delta U_{A123} = 25,07\% (7,626 \text{ kv})$$

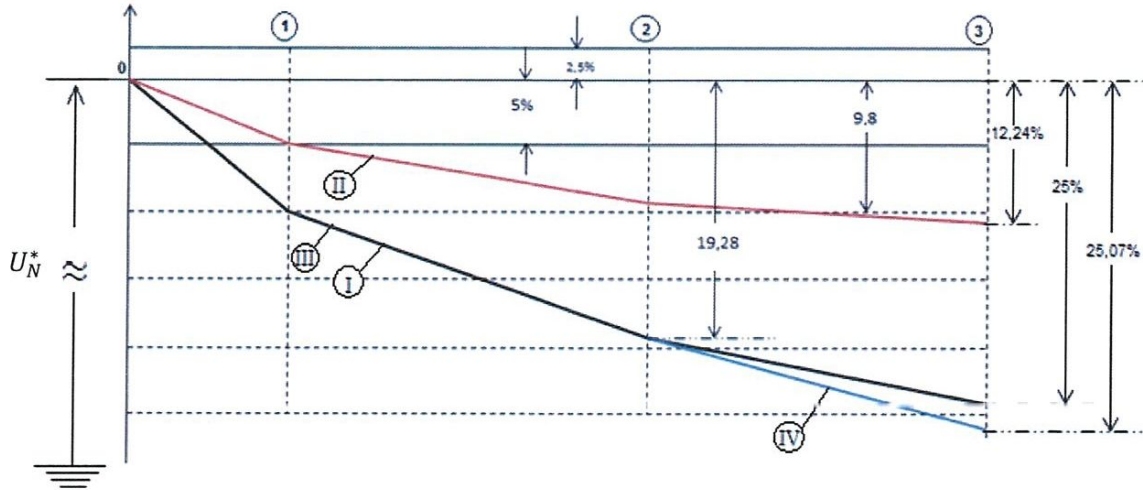


Fig. III. 5. Pertes de tension en réglage Initial.

On constate, également, que pour la deuxième ligne, la tension des nœuds, sous le régime initial, dévie excessivement des limites admissibles.

### III. 3. Caractéristiques de réglage :

Pour insérer la tension des nœuds considérés dans les écarts admissibles, on se propose d'agir par voie centralisée en agissant sur les spires des postes S/S-TR pour relever la tension de sortie «  $U_A$  ».

Ainsi pour insérer la tension  $U_i$  dans ses limites admissibles en régime minimal et en régime maximal, il faut ajouter à la tension  $U_A = U_N$  les écarts correspondants suivants :

$$\Delta U_{A \min}(i) = \Delta U_{i,0} - \Delta U_{ad \min} \%$$

$$\Delta U_{A \max}(i) = \Delta U_{i,0} + \Delta U_{ad \max} \%$$

Ou :  $\Delta U_{i,0}$  - Chute initiale de tension



### III. 3. 1. Ligne A-1-4

- **Intervalle I :**

**Nœud 1 :**

$$\Delta U_{A \min}(1)\% = \Delta U_1 - \Delta U_{ad \min}(1) = 9,8 - 5 = 4,8\%$$

$$\Delta U_{A \max}(1)\% = \Delta U_1 + \Delta U_{ad \max}(1) = 9,8 + 2,5 = 12,3\%$$

Ce qui donne :

$$U_{A \min}(1) = U_N + \Delta U_{A \min}(1) = 30 + 4,8 \frac{30}{100} = 31,44 \text{ kv}$$

$$U_{A \max}(1) = U_N + \Delta U_{A \max}(1) = 30 + 12,3 \frac{30}{100} = 33,7 \text{ kv}$$

**Nœud 4 :**

$$\Delta U_{A \min}(4)\% = \Delta U_4 - \Delta U_{A \min}(4) = 17 - 5 = 12\%$$

$$\Delta U_{A \max}(4)\% = 17 + 2,5 = 19,5\%$$

Ou bien,

$$U_{A \min}(4) = 30 + 12 \frac{30}{100} = 33,6 \text{ kv}$$

$$U_{A \max}(4) = 30 + 19,5 \frac{30}{100} = 35,7 \text{ kv}$$

Ces calculs donnent lieu à la représentation graphique de la fig III. 3

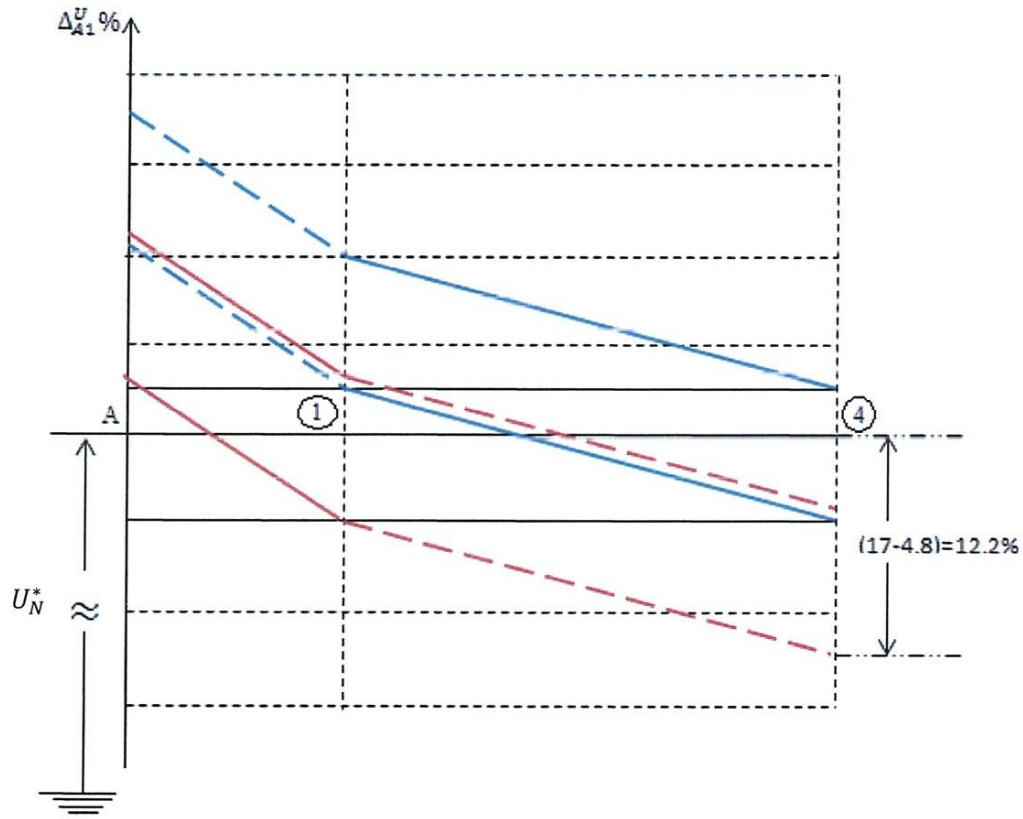


Fig. III. 6. Épure de réglage des nœuds 1 et 4 (I)

Les épures de contrôle sont obtenues par translation des caractéristiques initiales de valeur, respectivement,

$$\text{En limite minimale : } V_{0(\text{mi n})} = \Delta U_{A \text{ min}}(i)$$

$$\text{En limite maximale : } V_{0(\text{ma x})} = \Delta U_{A \text{ max}}(i)$$

- **Intervalle II :**

**Nœud 1 :**

$$\Delta U_{A \min}(1) \approx 0 ; U_{A \min}(1) = 30 \text{ kv} : U_{A \min}^*(1) = 1$$

$$\Delta U_{A \max}(1) = 7,43\% : U_{A \max}(1) = 32,23 \text{ kv} : U_{A \max}^*(1) = 1,074$$

En même temps le nœud (4) sera caractérisé respectivement par :

$$\Delta U_{4 \min} = -8,5\% (U_4^* = 0,915)$$

$$\Delta U_{4(\max)} = -8,5 + 7,43 = -1,07\% (0,989 = U_4^*)$$

**Nœud 4:**

$$\Delta U_{A \min}(4)\% = 8,5 - 5 = 3,5\% ; U_{A \min}(4) = 31,05 \text{ kv} : U_{A \min}^*(4) = 1,035$$

$$\Delta U_{A \max}(4)\% = 8,5 - 2,5 = 11\% ; U_{A \max}(4) = 33,3 \text{ kv} : U_{A \max}^*(4) = 1,11$$

Les écarts correspondants de tension dans le nœud (1) seront :

$$\Delta U_{1(\min)} = -5 + 3,5 = -1,5\% = -5 + 3,5 = -1,5\%$$

$$\Delta U_{1(\max)} = -5 + 11 = 6\%$$

- **Intervalle III :**

**Nœud 1 :**

$$\Delta U_{A \min}(A) = 9,8 - 5 = 4,8\% ; U_{A \min}(1) = 31,44 \text{ kv} ; 1,048 = U_{A \min}^*(1)$$

$$\Delta U_{A \max}(1) = 9,8 + 2,5 = 12,3\% ; U_{A \max}(1) = 33,7 \text{ kv} ; 1,123 = U_{A \max}^*(1)$$

Et

$$\Delta U_{4(\min)} = -19,57 + 4,8 = -14,77\%$$

$$\Delta U_{4(\max)} = -19,57 + 12,3 = -7,27\%$$

**Nœud (4) :**

$$\Delta U_{A \min}(4) = 19,57 - 5 = 14,57\% ; U_{A \min}(4) = 34,37 \text{ kv} ; U_{A \min}^*(4) = 1,147$$

$$\Delta U_{A \max}(4) = 19,57 - 2,5 = 22,07\% ; U_{A \max}(4) = 36,62 \text{ kv} ; U_{A \max}^*(4) = 1,22$$

Ce qui donne en (1)

$$\Delta U_{1(\min)} = -9,8 + 14,57 = 4,77\%$$

$$\Delta U_{1(\max)} = -9,8 + 22,27\% = 12,27\%$$

- **Intervalle IV :**

**Nœud (1) :** identique au cas III

**Nœud (4) :** identique au cas III

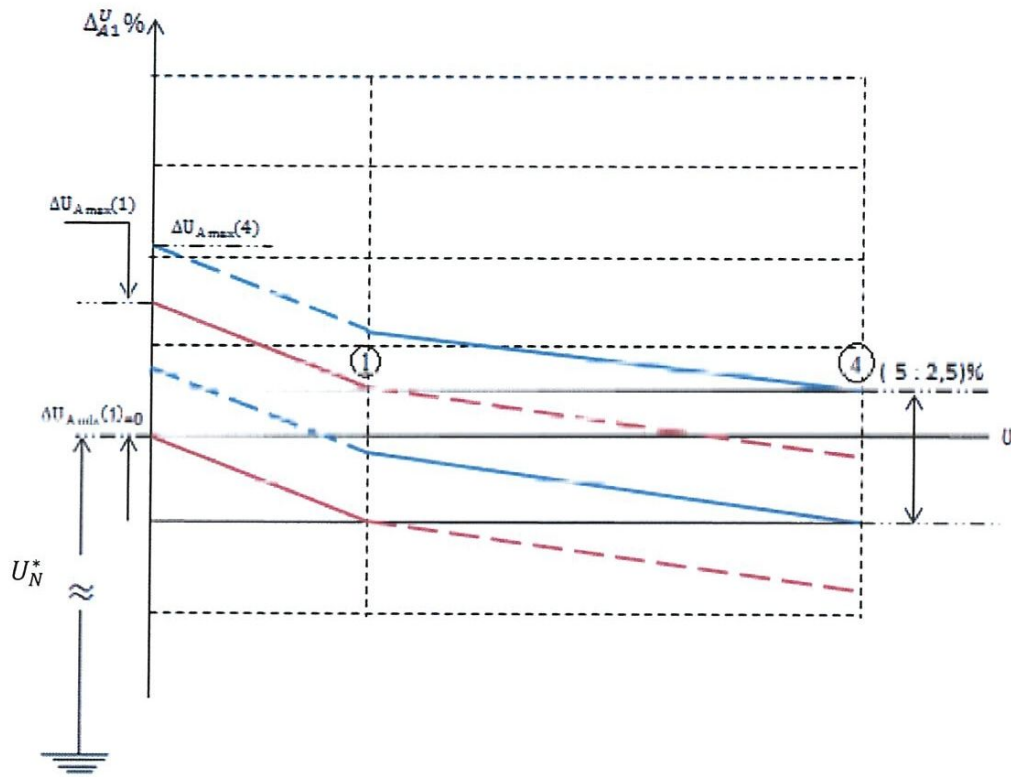


Fig. III. 7. Epure de réglage 1 et 2 (II)

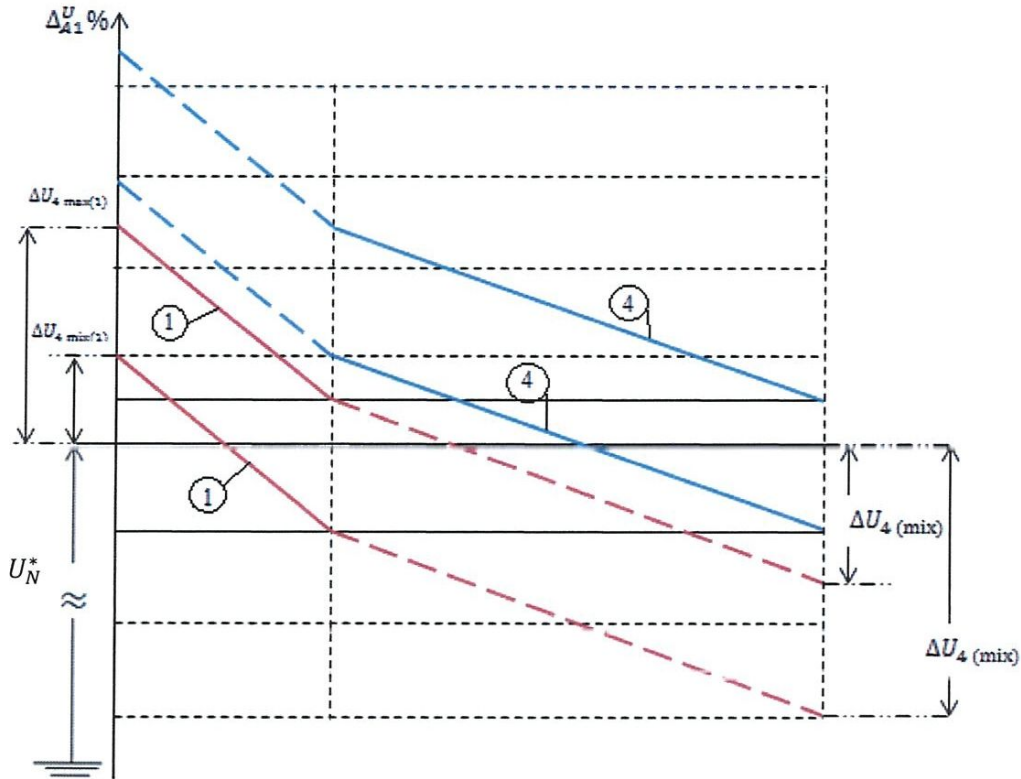


Fig. III. 8. Epures de réglage 1 et 4 (III,IV)

Les épures obtenues représentent la distribution de la tension le long de la ligne (A-1-4) sous l'effet du réglage centralisé au niveau de la source (A) pour tous les intervalles des graphiques de charge et conformément à la condition

$$0,95 \leq U_i^* \leq 1,025$$

Comme on peut le constater, insérer dans un écart admissible, la tension  $U_i$  d'un nœud « i » donné par le contrôle centralisé ne signifie pas, évidemment, y insérer de fait les autres tensions. Une meilleure lecture de cette observation peut être faite sur les graphiques

(Fig. III.9)

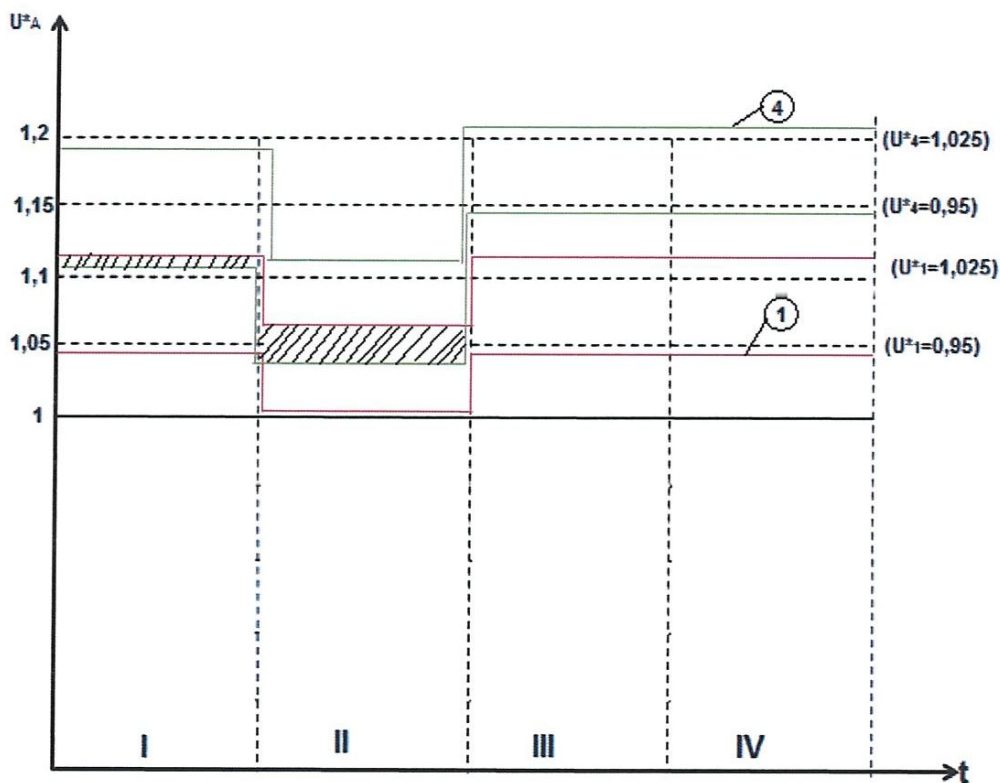


Fig. III. 9. Valeurs de  $U_A^*$  pour réaliser les écarts admissibles  $U_1^*$  et  $U_4^*$

Du graphique découle que le réglage centralisé de la tension des nœuds (1) et (4) et son insertion dans les limites admissibles par une même valeur de  $U_A$  ne peut être réalisé que dans les intervalles de temps (I) et (II) des graphiques de charge correspondants. Dans les autres intervalles, on doit réaliser, en plus du contrôle par  $U_A$ , un réglage local.

### III. 3. 2. ligne A-1-2-3 :

En procédant de la même manière que dans le cas de la ligne « A-1-4 », on peut réaliser les calculs nécessaires pour définir les valeurs de contrôle de la tension  $U_A$  pour les différents nœuds et les épures correspondantes. Les résultats de calcul sont saisis dans le tableau III.2 et représentés graphiquement sur la (fig. III. 10)

	$\Delta U\%$	I	II	III	IV
(1)	$\Delta U_{A \min(1)}$	4,86 (*1,0486)	$\approx 0$ (*1)	4,86 (*1,0486)	4,86 (1,048)
	$\Delta U_{A \max(1)}$	12,36 (*1,123)	7,5 (*1,075)	12,36 (*1,123)	12,36 (1,123)
	$\Delta U_{2(\min)}$	-14,42	-9,64	-14,42	-14,42
	$\Delta U_{2(\max)}$	-6,92	-2,14	-6,92	-6,92
	$\Delta U_{3(\min)}$	-19,62	-12,24	-19,62	-20,21
	$\Delta U_{3(\max)}$	-12,12	-4,74	-12,12	-12,7
(2)	$\Delta U_{A \min(2)}$	14,28 (*1,14)	4,64 (1,046)	14,28 (*1,14)	14,28 (1,14)
	$\Delta U_{A \max(2)}$	2,17 (*1,21)	12,14 (1,121)	2,17 (*1,21)	21,7 (1,217)
	$\Delta U_{1(\min)}$	+4,48	-0,36	+4,48	4,48
	$\Delta U_{1(\max)}$	+11,9	+7,14	+11,9	11,9
	$\Delta U_{3(\min)}$	-10,72	-7,5	-10,72	-10,79
	$\Delta U_{3(\max)}$	-3,3	-0,1 $\approx$ 0	-3,3	-3,37
(3)	$\Delta U_{A \min(3)}$	19,48 (1,19*)	7,24 (1,072)	19,48 (1,19*)	20,07
	$\Delta U_{A \max(3)}$	26,98 (* $\approx$ 1,27)	14,74 (1,147)	26,98 (* $\approx$ 1,27)	27,57
	$\Delta U_{1(\min)}$	+9,68	+2,24	+9,68	10,27
	$\Delta U_{1(\max)}$	+17,18	+9,74	+17,18	17,77
	$\Delta U_{2(\min)}$	+0,2	-2,4	+0,2	+0,79
	$\Delta U_{2(\max)}$	+7,7	+5,1	+7,7	8,29

Tab. III. 2



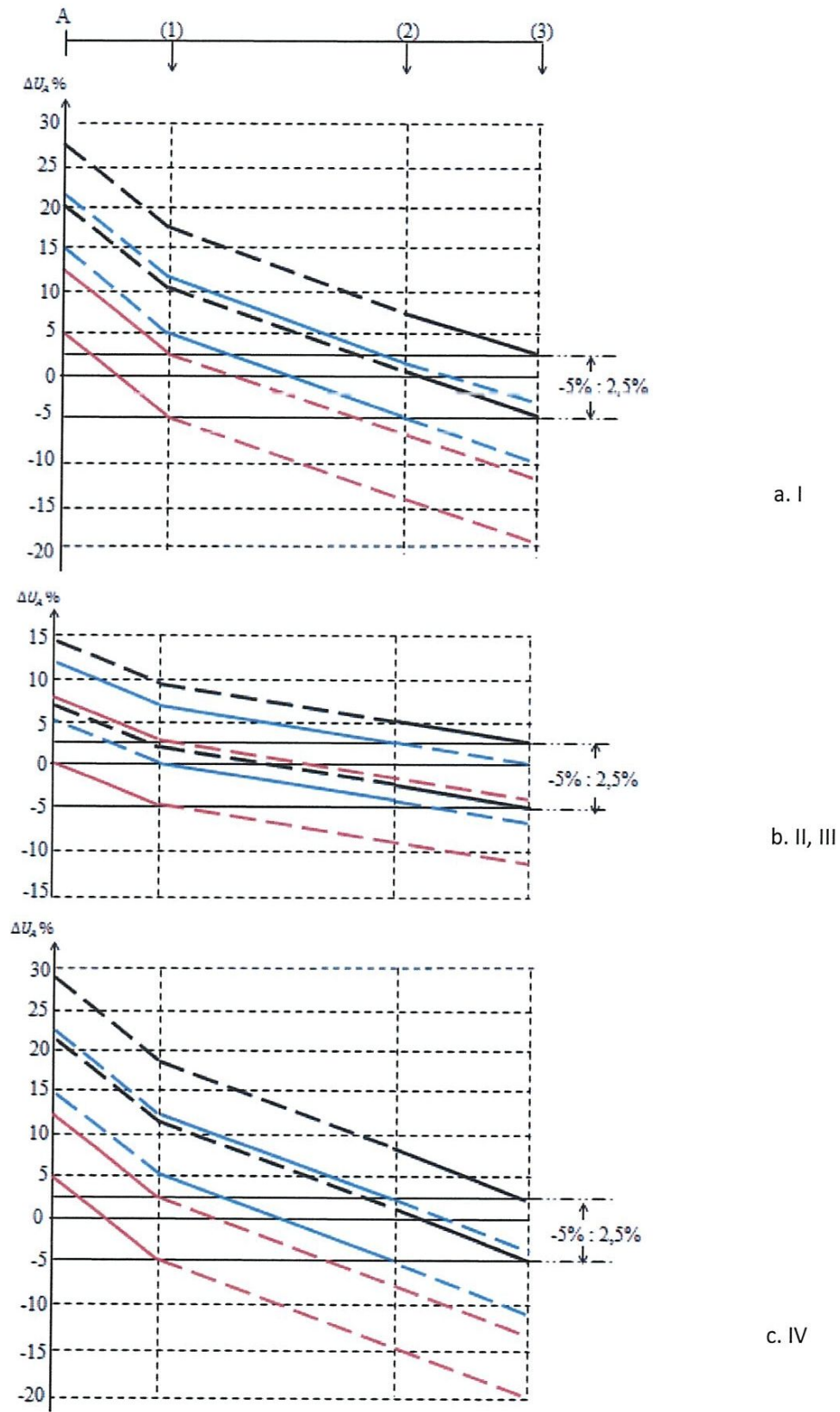


Fig.III.10. Epures de la tension suite au réglage par « UA » des nœuds, respectif 1,2 et 3

a-I ; b .II, III ; c. IV

Les résultats de calcul du tableau III.2 permettent également de représenter graphiquement les valeurs ' $U_A$ ' de contrôle en fonction des intervalles de temps et pour les trois nœuds

(fig. III.11)

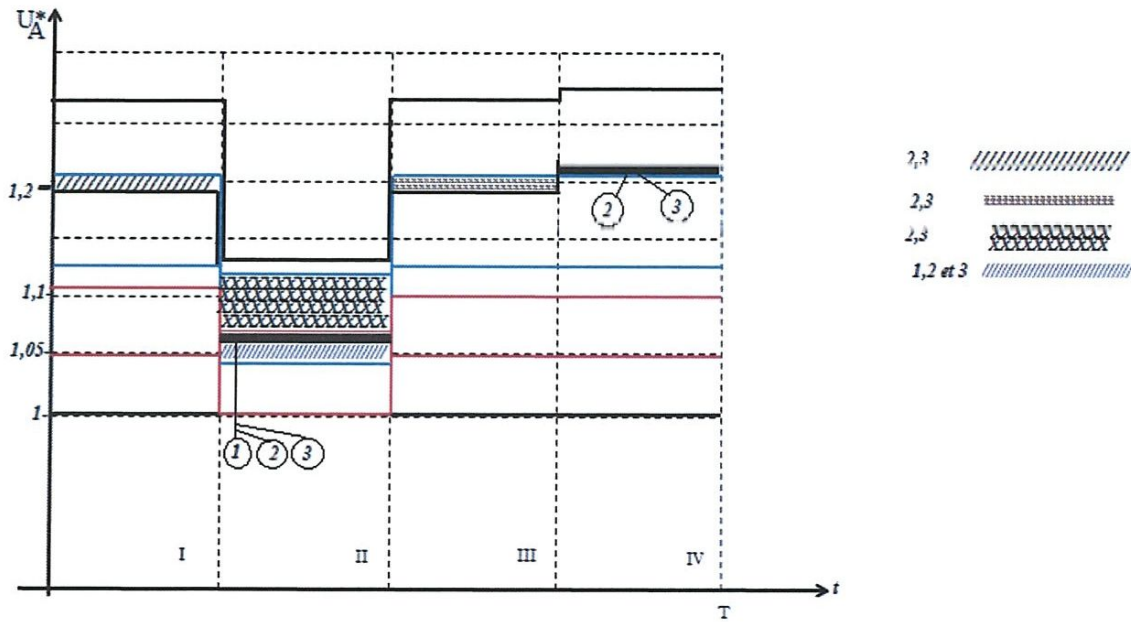


Fig. III. 11. Valeurs de la tension  $U_A$  à insérer  $U_1, U_2$  et  $U_3$  dans les limites

On constate que le réglage centralisé peut être réalisé pour :

- Les nœuds (2) et (3) dans l'intervalle « I » si  $1,19 \leq U_A^* \leq 1,21$
- Les nœuds (2) et (3) dans l'intervalle « II » si  $1,072 \leq U_A^* \leq 1,121$
- Les nœuds (2) et (3) et (1) dans l'intervalle « II » si  $1,072 \leq U_A^* \leq 1,075$
- Les nœuds (2) et (3) dans l'intervalle « III » si  $1,19 \leq U_A^* \leq 1,21$
- Les nœuds (2) et (3) dans l'intervalle « IV » si  $1,2 \leq U_A^* \leq 1,217$

## **Conclusion :**

Durant la réalisation de ce projet nous avons approfondis nos connaissances sur le domaine d'exploitation des réseaux électriques et surtout les causes de dégradation de la qualité de l'énergie électrique par des perturbations influant sur les paramètres de régime de fonctionnement ce qui provoque la dégradation de la qualité de l'énergie électrique.

La connaissance de ces perturbations en particulier leurs origines et leurs effets in souhaitables sur l'exploitation des réseaux électriques, nous a conduits, de faire une étude simple afin de trouver les solutions indispensables et les moyens nécessaires pour l'élimination ou, au moins, la réduction de ces effets.

Après cette étude on s'est basé sur l'utilisation de quelques moyens de compensation de l'énergie réactive qui fait l'objet de notre projet, vu le problème majeur que pose toujours l'écoulement de la puissance réactive dans les lignes électriques, dans le but de réglage de la tension pour la maintenir plus proche de sa valeur nominale, lors des variations importantes des différentes charges constituant le système énergétique.

Selon le degré de ces variations qui est généralement connu par des graphiques dits graphiques de charges, on peut choisir le type et le moyen efficace pour la compensation. On donne dans ce travail une procédure de compensation de la puissance réactive pour un réseau déployé « radial-magistral ». On constate que le réglage de la tension par voie centralisée ne peut suffire pour maintenir, en même temps, la tension admissible dans tous les nœuds du réseau. De ce fait, il s'avère nécessaire de recourir à un contrôle local du réactif.

# BIBLIOGRAPHIE

- Guet, j. Morf (énergie électrique), série de traité d'électricité
- J.Verseille (circulation d'énergie réactive : effet sur un réseau) technique de l'ingénieur.
- G. Drouin (compensateur statique de puissance réactive) technique de l'ingénieur.
- R. Sebastien (compensation de l'énergie réactive) article 2002.
- Technique de Schneider électrique
- Citographie.
- Livre électrique de France.
- Compensation de la puissance réactive dans un réseau électrique : mémoire d'ingénieur univ 8 mai 1945 Guelma 2006
- Optimisation de l'énergie réactive dans un réseau électrique : mémoire magister univ Bechar 2000
- Utilisation de la compensation série avancée dans les réseaux électriques mémoire magister univ Djillali Laibés Sidi Bel Abbes 2008
- Contrôle des puissances et tension dans un réseau de transport au moyen de dispositifs FACTS (SVC) mémoire magister univ Djillali Laibés Sidi Bel Abbes 2008
- Brochure (généralité) D'arcelor mittal l'Hadjar, Annaba