

M/621.834

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**

---

**Élaboration d'un réseau électrique et compensation**

---

Présenté par :  
**Menaiaia Ahlam**  
**Berbiti Rahma**

Sous la direction de :  
**Pr. Bounaya Kamel**



Mai 2014

## REMERCIEMENTS

Tous d'abord on remercie le bon dieu qui nous a donné la force, le savoir et la patience pour réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier infiniment notre directeur de projet Pr.*BOUNAYA\_KAMEL* qui nous a guidés, orienté et aidé inconditionnellement pendant ce travail.

Notre gratitudes va également à :*Dr. FRAGUA, MER. GHOUAIDIA*  
*,Dr.LADJEMI*

Tous nos enseignants du département de génie électrique.

Finalement on tient à remercier tous ceux qui ont contribué de près et de loin à notre formation et surtout a nos collègues de 5 ELT.



## Dédicace

Je remercie mon dieu, les toutes puissances ma donnée le courage la patience d'achever ce projet.

Je dédie ce modeste travail aux trois qui son pour moi les plus chères personnes : mes parents DJNALI et Rahima et mon marie Waheb

A mes très chers frères : khair Eddine ; Minou

A ma très chère sœur : lyna

Et une dédicace spéciale pour mon oncle Djamel (rahimaho allah)

A mes amis intimes et tous la famille

A tout la classe master 2 réseaux électriques 2014

et tous qui connait Ahlam menaiaia

## Dédicace

Je remercie mon dieu, les toutes puissances ma donnée le courage la patience d'achever ce projet.

Je dédie ce modeste travail aux trois qui son pour moi les plus chères personnes : mes parents NASSER EDDINE et NADIA et mon oncle AHMED ATTAFI

A mon très chers frère : **MOHAMED**

A ma très chère sœur : SHAHRAZED

A mes grands-parents : MASSOUADA et SOULTANA et n'oublie pas les morts ABD RAHMAN et SALAH(GHARMI)

A ma chère voisine : MALIKA

A mes amis intimes et tous la famille

A tout la classe master 2 réseaux électriques 2014

et tous qui connaît BERBITI RAHMA

## SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| Introduction.....  | 1         |
| <b>Premier chapitre : traitement bibliographique</b>                                 |           |
| <b>I. Définitions.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>I.1. Les phénomènes électriques dans les réseaux.....</b>                         | <b>2</b>  |
| <b>I .2.Phénomènes d'énergie électrique : « Manque locale d'énergie réactive »..</b> | <b>3</b>  |
| <b>I.3.Déphasage, énergie, puissance.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>I.4.Plus de puissance, moins de dépenses.....</b>                                 | <b>5</b>  |
| <b>I.5.Facteur de puissance.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>I.5.1.Définition.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>I.5.2. Avantage et inconvénient.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>I.6.Comment améliorer le facteur de puissance.....</b>                            | <b>8</b>  |
| <b>I.7.Installation des condensateurs/batterie des condensateurs.....</b>            | <b>9</b>  |
| <b>I.8.Diagramme des puissances.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>I.9.Facteur de puissance des principaux récepteurs.....</b>                       | <b>10</b> |
| <b>I.10.Comment calculer la puissance réactive.....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>I.11.Méthode de compensation.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>I.12.Compensation d'énergie réactive.....</b>                                     | <b>13</b> |
| <b>I.13.Compensation statique.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>I.14.Type d'un compensateur statique.....</b>                                     | <b>15</b> |
| <b>I.14.1.Mode de branchement des batteries.....</b>                                 | <b>15</b> |
| <b>I.14.2.Les batteries de condensateur de type fixe.....</b>                        | <b>16</b> |
| <b>I.14.3.Les batteries de condensateur de type automatique.....</b>                 | <b>17</b> |
| <b>I.15. Avantage de la compensation statique.....</b>                               | <b>18</b> |
| <b>I.16. Compensateurs statique à thyristors.....</b>                                | <b>18</b> |
| <b>I.17.Compensateur synchrone.....</b>  | <b>19</b> |

|   |    |
|---|----|
| I.18.Choix du type de compensation.....         | 19 |
| I.19.Choix de la localisation.....              | 20 |
| I.19.1. Compensation globale.....               | 20 |
| I.19.2.Compensation locale ou par secteurs..... | 21 |
| I.19.3.Compensation individuelle.....           | 22 |

**Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer**

|   |    |
|---|----|
| II.1. Données initiales de réseau .....                                 | 22 |
| II.1.1. Coordonnées des charges.....                                    | 23 |
| II.1.2. Lieu d'implantation de la source .....                          | 23 |
| II.1.3. Distance entre les nœuds et la source.....                      | 24 |
| II.1.4. Choix du niveau de tension.....                                 | 24 |
| II.2.1. Choix du schéma du réseau électrique .....                      | 25 |
| II.2.2. Calcul de la distribution des puissances.....                   | 26 |
| II.2.3. Choix des sections des conducteurs .....                        | 30 |
| II.3. Calcul des variantes.....   | 31 |
| II.3.1. Calcul des courants des lignes et des sections.....             | 31 |
| II.3.2. Calcul des paramètres des lignes.....                           | 32 |
| II.3.3. évaluation des pertes de puissance .....                        | 33 |
| II.4. Comparaison techno-économique des variantes.....                  | 34 |
| II.4.1. Application numérique .....                                     | 36 |
| II.4.1.1. Pertes d'énergie dans les lignes pour les deux variantes..... | 36 |
| II.4.1.2. Calcul des dépenses ramenées.....                             | 38 |

**Troisième chapitre : vérification du régime et compensation**

|  |    |
|--|----|
| III.1. Choix des transformateurs pour la variante choisie..... | 40 |
| III.1.1.Paramètres des transformateurs choisis.....            | 40 |
| III.1.2.Calculs des pertes dans les postes.....                | 41 |

|   |    |
|---|----|
| III.1.3.Calculs des puissances des charges réduites des postes(HT).....         | 42 |
| III.1.4.Calculs des puissances des charges réduits des nœuds(HT).....           | 42 |
| III.5.5.calcul des puissances écoulées dans l'enroulement des transformateurs.. | 42 |
| III.5.6 Application numérique.....  | 42 |
| III.6. Analyse de la variante retenue.....                                      | 43 |
| III.6.1.Distribution des puissances tenant compte des pertes.....               | 44 |
| III.6.2. étude de régime normale.....   | 46 |
| III.6.2.1.Première boucle.....  | 46 |
| III.6.2.2.Deuxième boucle.....  | 51 |
| III.7.Compensation de la ligne.....   | 56 |
| Conclusion.....   | 61 |

## **Introduction :**

Les réseaux électriques sont depuis longtemps, l'objet d'études dans le but de maintenir leur bon usage, pour les processus qu'il années, l'environnement du monde électrique et ses modes d'organisation, changent rapidement avec la libéralisation du marché de l'électricité et la modification des règles économiques, puisque les consommateurs peuvent faire jouer la concurrence et les sociétés de distribution peuvent élargir leur activités secondaires, telles nécessaires au fonctionnement d'un réseau, par exemple : la sous-traitance de la maintenance ou de l'exploitation des installations des technologies à aussi plusieurs effets ; comme elles rendent les processus plus sensibles à la qualité d'énergie, elle permettent aussi de mieux instrumenter et contrôler les réseaux électriques, et autorisent des actions à distance. L'électricité est considérée maintenant comme un produit à part entière, devenu vital pour la dynamique socio-économique d'un pays. Ceci implique des nécessités de qualité de l'énergie électrique présentée au consommateur et ajustée à son besoin. Les processus ayant des exigences variables en sécurité et en qualité et l'électricité fournie doivent répondre correctement aux impératifs des cahiers des charges.

Le réseau électrique dans sa longévité, est caractérisé par plusieurs aspects qui ont trait à sa structure, sa fonctionnalité, ses propriétés et ses exigences. En effet, déployés sur de large territoires, très complexes par les différentes interactions électromagnétiques entre ses propres éléments et avec l'environnement et soumis à des changements d'état quasi continus, les systèmes électriques, dans leurs descriptions, ne peuvent être saisis simplement de manière unidimensionnelle, mais sont définis dans une dimension spatio-temporelle hiérarchique aussi bien structurelle que fonctionnelle.

On distingue essentiellement les aspects suivants :

- Le cycle évolutif et de croissance du réseau électrique ; c'est-à-dire, les changements d'état structurels successifs depuis sa conception jusqu'à ces évolutions,
- Le changement d'état fonctionnel qui caractérise les divers régimes de système électrique et qui mettent en évidence des différents types de phénomènes électriques,
- La nature des réseaux électriques et leur exploitation qui déterminent l'impact des changements d'état sur les éléments constitutifs et de surveillance,
- Les traitements analytiques et expérimentaux qui doivent conduire à l'élaboration des réseaux électriques, conformément à des critères techniques et économiques viables.

A decorative border of small, colorful butterflies (blue, orange, and black) frames the page. The butterflies are arranged in a continuous line along the top, bottom, and sides of the page.

# **PREMIER CHAPITRE**

## **Traitement bibliographique**

**I. Définitions :****I.1. Les phénomènes électriques dans les réseaux :**

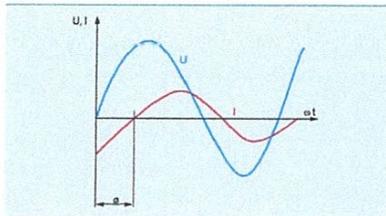
Un réseau électrique est un système composé de différents éléments constituant un support physique d'interactions mutuelles et de transmission de l'énergie électrique. Le fonctionnement de système dans le temps et dans l'espace est le résultat de toutes les interactions, conformément aux lois de l'électricité. Celles-ci sont décrites par des équations qui mettent en relations des paramètres fondamentaux descriptifs et quantitatifs des processus énergétiques, tels primaires comme les tensions, les courants, les impédances, le temps et secondaires comme les différents facteurs d'onde et autres caractéristiques.... Généralement, il y a deux types d'analyse de la stabilité de tension : dynamique et statique. L'analyse dynamique se base sur des simulations dans le temps afin de résoudre des équations non linéaires différentielles/ algébriques du système. Par contre, l'analyse statique est basée sur la solution des équations conventionnelles ou modifiées du problème d'écoulement de puissance.

**I.2. Phénomène d'énergie électrique : « Manque locale d'énergie réactive »**

1. L'effondrement de tension est fortement lié au manque de la puissance réactive requise pour maintenir le profil de tension dans une marge de fonctionnement permise. A un certain niveau de charge, le réseau électrique ne satisfait pas la puissance réactive demandée par la charge à cause des limitations sur la production et la transmission de la celle-ci. La limitation de production de la puissance réactive inclut les générateurs et les équipements FACTS ainsi que la puissance réactive limitée des condensateurs. La limite de production de la puissance réactive des générateurs est due principalement aux contraintes thermiques exercées sur le bobinage rotorique et statorique. Sans la limitation thermique, l'instabilité et l'effondrement de tension sont souvent impossibles. Dans le même contexte, les équipements FACTS sont de très grande dimension.

**I.3. Déphasage, énergies, puissance :**

Une installation électrique, en courant alternatif, comprenant des récepteurs tels que transformateur, moteur, soudeuse, électronique de puissance...., et en particulier, tout récepteur dont l'intensité est déphasée par rapport à la tension, absorbe une énergie totale que l'on appelle énergie apparente ( $E_{app}$ ).

**Fig. (II.1)****✓ Déphasage entre courant et tension (angle  $\phi$ ) :**

Cette énergie, qui s'exprime généralement en Kilo volt ampère heure (KVA h), correspond à la puissance apparente  $S$  (KVA) et se répartit comme suite :

- Energie active ( $E_a$ ) : exprimée en Kilo watt heure (Kw h). Elle est utilisable, après transformation par le récepteur, sous forme de travail ou de chaleur. A cette énergie correspond la puissance active  $P$  (Kw).
- Energie réactive ( $E_r$ ) : exprimée en Kilo var heure (K Var h). Elle sert en particulier à créer dans les bobinages des moteurs, transformateurs, le champ magnétique sans lequel le fonctionnement serait impossible. A cette énergie correspond la puissance réactive  $Q$  (K var). Contrairement à la précédente, cette énergie est dite « improductive » pour l'utilisateur.

#### I.4. Plus de puissance, moins de dépenses :

Basée autour de la compensation d'énergie réactive, l'offre Legrand présente de multiples avantages.

Ainsi la mise en place de batteries de condensateurs dans les bâtiments tertiaires et industriels permet de diminuer la quantité d'énergie réactive fournie par la source et améliore le facteur de puissance de l'installation. La compensation de l'énergie réactive apporte les bénéfices suivants :

- Suppression de la facturation d'énergie réactive. Les utilisateurs des réseaux industriels et tertiaires savent en effet par expérience qu'un mauvais cos phi peut coûter beaucoup d'argent. Lorsque sa valeur est inférieure à 0,9 (ou 0,95 pour les grands utilisateurs), ceux-ci sont, on peut le dire, pénalisés et doivent payer un surcoût. Lors du calcul du coût du kWh facturé au consommateur, la société de distribution doit notamment tenir compte des investissements non productifs et des pertes énergétiques supplémentaires suite au mauvais cos phi.
- Diminution des pertes d'énergie active dans les câbles (effet Joule -  $RI^2$ ) compte tenu de l'intensité véhiculée dans l'installation (près de 3%).
- Amélioration du niveau de tension en bout de ligne.
- Augmentation de la puissance active avec la même installation. A signaler qu'une batterie de condensateurs est un investissement amorti en quelques mois grâce à l'annulation des Kvarh facturés et à la diminution de la puissance souscrite.

En d'autres mots, pour obtenir une même puissance active, un courant plus important doit parcourir les câbles lorsque le cos phi est plus faible. Tout ceci engendre un surdimensionnement des centrales électriques, des câbles, des lignes, des transformateurs, ... et surtout des pertes Joule supplémentaires.

#### I.5. Facteur de puissance :

**I.5.1 Définition :**

Par définition le facteur de puissance autrement dit le  $\cos \phi$ , d'un appareil électrique est égale au rapport de la puissance active  $P(KW)$  sur la puissance apparente  $S(KVA)$  et peut varier de 0 à 1.

$$\cos \phi = \frac{P(KW)}{S(KVA)} \quad (I.1)$$

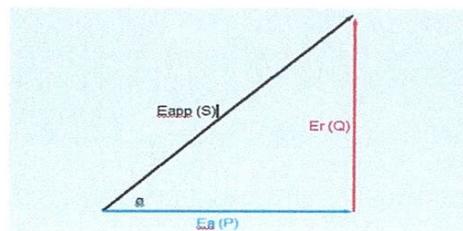


Fig. (I.2)

Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

- Un facteur de puissance égale à 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (résistance pure).
- Un facteur de puissance inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de 0 (inductance pure).
- Dans une installation électrique, le facteur de puissance pourra être différent d'un atelier à un autre selon les appareils installés et la manière dont ils sont utilisés (fonctionnement à vide, pleine charge,.....).

Les appareils de comptage d'énergie mesurant plus facilement les consommations d'énergie active et réactive, les services d'électricité ont choisi de faire apparaître pour leur clientèle au niveau des factures d'électricité le terme de  $\text{tg } \Phi$ .  
Calcul de  $\text{tg } \Phi$  :

$$\tan \phi = \frac{E_r(k \text{ varh})}{E(k \text{ Wh})} \quad (I.2)$$

La  $\text{tg } \Phi$  est le quotient entre l'énergie réactive  $E_r(K \text{ var h})$  et l'énergie active  $E_a(K \text{ w h})$  consommées pendant le même temps.

A l'inverse du  $\cos\Phi$  on s'aperçoit facilement que la valeur de la  $\text{tg}\Phi$  être la plus petite possible afin d'avoir le minimum de consommation d'énergie réactive.

$\cos \Phi$  et  $\text{tg } \Phi$  sont liée par la relation suivante :

$$\cos \Phi = \frac{1}{\sqrt{1+(\text{tg}\phi)^2}} \quad (I.3)$$

Mais il est plus simple de se reporter à un tableau de correspondance

### I.5.2. Avantage et Inconvénient :

#### ✓ Avantage :

- Augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur.
- Diminution du courant véhiculé dans l'installation en aval du disjoncteur BT.

Ceci entraîne la diminution des pertes par effet joule dans les câbles.

#### ✓ Inconvénient :

Une grande puissance réactive dans mauvais facteur de puissance ( $\cos \Phi$  faible ou  $\tan \Phi$  fort) nous pénalise sur :

- Une diminution de la puissance active disponible au secondaire du transformateur alimentant l'installation.
- Le dimensionnement des câbles et de l'installation : pertes importantes par échauffement.
- Le courant appelé chez EDF : Surfacturation.

C'est pourquoi EDF sanctionne par une majoration tarifaire les clients ayant un mauvais  $\cos \Phi$ .

#### **I.6. Comment améliorer le facteur de puissance :**

##### **Avantage :**

Un bon facteur de puissance c'est :  $\cos \Phi$  élevé (proche de 1) ou  $\tan \Phi$  faible (proche de 0)

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 ligne.
- L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire.

#### **I.7. Installation des condensateurs / Batteries de condensateurs :**

Améliorer le facteur de puissance d'une installation électrique, c'est la doter des moyens de produire elle-même une part plus ou moins importante de l'énergie réactive

qu'elle consomme.

Il existe différents systèmes pour produire de l'énergie réactive, en particulier les compensateurs de phase et les condensateurs shunt (ou série pour les grands réseaux de transport).

Le condensateur est le plus utilisé compte tenu :

- De son non consommation en énergie active.
- De son coût d'achat.
- De sa facilité d'emploi.
- De son très faible entretien (appareil statique).
- De sa durée de vie (10ans environ).

Le condensateur est un récepteur constitué de deux parties conductrices (électrodes) séparées par un isolant. Ce récepteur a la propriété, lorsqu'il est soumis à une tension sinusoïdale de déphaser son intensité, donc sa puissance (réactive capacitive) de  $90^\circ$  en avant sur la tension.

A l'inverse, tous les autres récepteurs (moteur, transformateur,...) déphasent leur composante réactive (courant ou puissance réactive inductive) de  $90^\circ$  en arrière sur la tension.

La composition vectorielle de ces courants ou puissances réactives (inductive et capacitive) conduit à un courant ou une puissance réactive résultante inférieure à celle existant avant l'installation de condensateurs.

Pour simplifier, on dit que les récepteurs inductifs (moteur, transformateurs,...) consomment de l'énergie réactive alors que les condensateurs (récepteurs capacitifs) produisent de l'énergie réactive.

#### **I.8. Diagramme des puissances :**

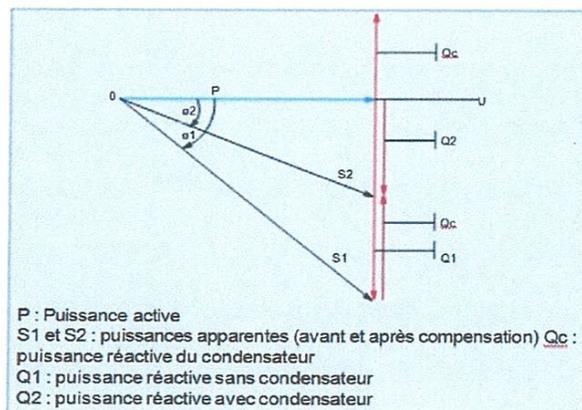


Fig. (I.3)

## I.9. Facteur de puissance des principaux récepteurs :

| RECEPTEUR               | Cos $F_i$   | Tg $F_i$            |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| Moteurs asynchrones 0%  | 0,17        | 5,80                |
| Ordinaires chargé à 25% | 0,55        | 1,52                |
| 50%                     | 0,73        | 0,94                |
| 75%                     | 0,80        | 0,75                |
| 100%                    | 0,85        | 0,62                |
| Lampes à incandescence  | Approx 1    | Approx. 0           |
| Lampes à fluorescentes  | Approx 0,5  | Approx 1,73         |
| Lampes à de charge      | 0,4 to 0,6  | Approx 2,29 to 1,73 |
| Fours à résistance      | Approx 1    | Approx 0            |
| Fours diélectriques     | Approx 0,85 | Approx 0,62         |

|  |            |              |
|--|------------|--------------|
| Machines à soulage à<br>resistance                   | 0,8 to 0,9 | 0,75 to 0,48 |
| Postes statiques<br>monophasés de soulage à<br>l'arc | Approx 0,5 | Approx 1,73  |
| Postes à soudage rotatifs                            | 0,7 to 0,9 | 1,02 to 0,48 |
| Transformateurs<br>redresseurs de soulage à<br>l'arc | 0,7 to 0,8 | 1,02 to 0,75 |
| Fours à arc  | 0,8        | 0,75         |
| Redresseurs de puissance à<br>thyristor              | 0,4 to 0,8 | 2,25 to 0,75 |

Tableau (I.1)

Les récepteurs consommant le plus d'énergie réactive sont :

- \_ Les moteurs à faible charge.
- \_ Les machines à souder.
- \_ Les fours à arc et induction.
- \_ Les redresseurs de puissance.

#### I.10. Comment calculer la puissance réactive :

##### ➤ Formule :

La puissance réactive  $Q_c$  requise pour la compensation est calculée à partir de la puissance active ( $P_{KW}$ ) et de la  $tg F_i$  mesurée sur l'installation.

Ces mesures sont effectuées en aval du secondaire du transformateur.

$$Q_c(\text{ batterie à installer}) = P_{kw} (tg F_i \text{ mesurée} - tg F_i \text{ à obtenir}) = P_{kw} \times K^*$$

Le coefficient K s'obtient à partir du tableau

➤ **Compensation réactive des transformateurs :**

Lors de la définition d'une installation de compensation d'énergie réactive, elle est conseillée de prévoir un condensateur fixe correspondant à la consommation réactive interne du transformateur chargé à 75%

Un transformateur a besoin, pour assurer son fonctionnement, d'énergie réactive interne nécessaire à la magnétisation de ses enroulements.

**I.11. Méthode de compensation :**

Le fonctionnement du réseau dans de 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. On a vu que 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.

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 et possible en installant des dispositifs appelés les compensateurs réactives.

La compensation de la puissance réactive à pour tache :

- Réduire les fluctuations de tension et les phénomènes de flicker(papillotement).

- Améliorer le facteur de puissance,
- Equilibrer les charges asymétriques.

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

- Réponses instantanées à des variations brusques de charges ce qui garantit les changements rapides et lents de la charge seront atténués.
- Réponses indépendantes pour chaque phase de manière à ce que les variations de 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 au 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'ordinaire technique et technico-économique. Les installations électriques sont installées dans des sous stations directement ou sous formes de consommateur.

Parmi les moyens de compensations réactives on a :

- ✓ Compensateur synchrone
- ✓ Compensateur statique à thyristors
- ✓ Inductance
- ✓ Batterie de condensateur.

### **I.12. Compensation d'énergie réactive :**

Toute machine électrique utilisant le courant alternatif (moteur, transformateur) met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive. L'énergie active consommée (Kw /h) résulte de la puissance active  $P$ (kw) des récepteurs, elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes). L'énergie réactive consommée (k var/h) sert à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques, elle correspond à la puissance réactive  $Q$  (kvar) des récepteurs. L'énergie apparente (kva/h) est la somme vectorielle des deux énergies précédentes. Elle correspond à la puissance apparente  $S$ (kva) des récepteurs, somme vectorielle de  $P$ (kw) et  $Q$ (kvar).

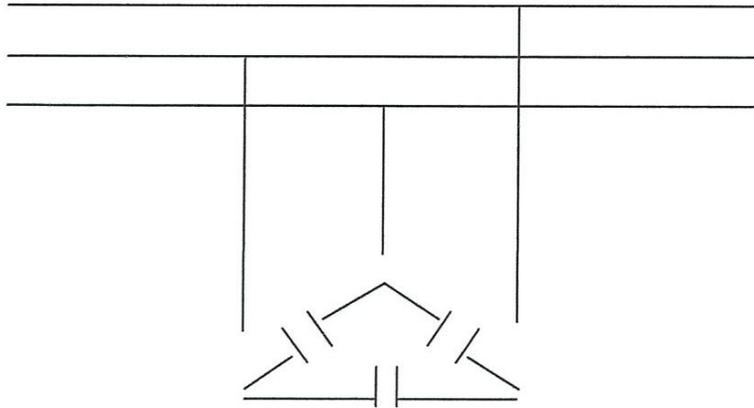
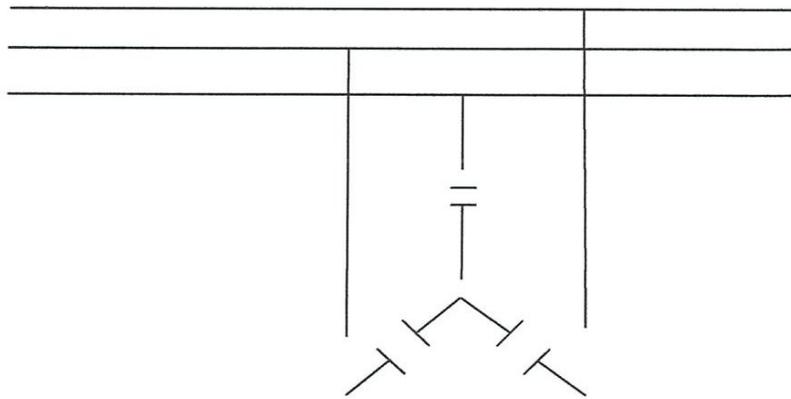
### **I.13. Compensation statique :**

#### **Définition :**

La compensation de l'énergie réactive a une importance capitale dans toute installation électrique. La compensation peut se faire en basse tension ou en haute tension en utilisant des condensateurs et des inductances. Compenser une installation suppose installer une source d'énergie réactive de compensation qui permet d'améliorer le facteur de puissance de l'installation réduire les pertes de puissance et de tension.

### **I.14. Type d'un compensateur statique :**

#### **I.1.4.1 . Mode de branchement des batteries :**

**Branchement en triangle.****Branchement en étoile.**

Le passage de mode étoile ou mode triangle permet d'augmenter immédiatement de 3 fois la puissance réactive.

**I.14.2. Les batteries de condensateur de type fixe :**

- ❖ La puissance réactive fournie par la batterie est constante quel que soit la variation du facteur de puissance et de la charge de récepteur, donc de la consommation de l'énergie réactive et l'installation.
- ❖ La mise sous de tension de ces batteries est :
  - Soit manuelle par disjoncteur.
  - Soit semi automatique par contacteur commandé à distance.
- ❖ Ce type des batteries est généralement utilisé dans les cas :
  - D'installations électrique à charge constante fonctionnant 24/24.
  - De compensation réactive interne des transformateurs.
  - De compensation individuelle de moteur.

#### **I.14.3. Les batteries de condensateur de type automatique :**

La puissance réactive fournie par les batteries est modulable en fonction de la variation de facteur de puissance et de la charge des récepteurs donc consommation de l'énergie réactive de l'installation.

Ces batteries sont composées d'une association parallèle des gradins condensateur (Gradin=condensateur+contacteur), la mise en ou hors de service de tout ou partie de batterie étant asservie à un régulateur de var métrique intégré.

Ces batteries sont également utilisées dans les cas ;

D'installation électrique à charge variable.

- D'installation d'une batterie dont la puissance supérieure à 15% de la puissance de transformateur.
- Pour supprimer toute usure de matériel et obtenir une réponse plus rapide aux fluctuations de consommation de la puissance réactive, on utilise des relais statiques (thyristors), au lieu de contacteur ou disjoncteurs. Pour réaliser un compensateur

statique pouvant générer une puissance réactive variable, on associe des condensateurs et un gradateur.

#### **I.15. Avantage de la compensation statique :**

Le compensateur statique améliore la stabilité de la consommation de puissance réactive et la tension. Aussi, il ne faudrait pas attendre la solution de tous les problèmes en particulier de ceux liés à des fluctuations instantanées, comme la chute de tension due à un défaut proche ou éloigné ou à un démarrage du moteur de grande puissance, accuse de provoquer des pannes.

- Marche sans usure, grande durée de fonctionnement suppression de tous les travaux d'entretien et de surveillance.
- Montage facile.
- Le fractionnement de la puissance en service est possible avec une batterie de condensateurs.

#### **I.16. Compensateurs statiques à thyristors :**

Ils sont constitués d'ensembles de condensateurs et d'inductances commandés par thyristors. Les compensateurs statiques ont de bonnes performances dynamiques, ils peuvent donc être utilisés pour les réglages de la tension, en particulier dans les zones éloignées des centres de production, ils permettent également de réduire les perturbations créées par certains utilisateurs et contribuer à l'amélioration de la stabilité du réseau. Ces thyristors sont montés tête-bêche dans chaque phase, chacun d'entre eux étant ainsi conducteur pendant une demi-période. Différentes combinaisons sont possibles. L'une des plus utilisées consiste à associer une inductance commandée par thyristors à des gradateurs de condensateurs commandés manuellement. La puissance réactive absorbée par l'inductance varie en contrôlant la valeur efficace du courant qui la traverse par action sur l'angle d'amorçage des thyristors. Dans le cas des batteries de condensateurs,

les thyristors commandent la mise en service des différents gradins et la puissance réactive fournie varie par palier.

### I.17. Compensateur synchrone :



Il peut être assimilé à un moteur synchrone fonctionnant à vide, c'est-à-dire que son arbre n'est pas soumis à aucun couple résistant, qui serait peut-être considéré comme charge. Le stator est branché au réseau à un courant triphasé, sur le rotor est enroulée une bobine d'excitation. On peut donc considérer que le compensateur synchrone consomme une très faible quantité de puissance active égale aux pertes par échauffements dans ces enroulements du stator et par frottement. Nous devons limiter la puissance active et augmenter un peu la puissance réactive de telle façon que le courant  $I$  passant par les enroulements ne dépasse pas la valeur maximale du stator, la puissance apparente est toujours positive et le courant  $I$  se détermine à partir de cette dernière.

Dans les jeux de barres les moteurs synchrones consomment la puissance active et réactive un tel régime est appelé régime ordinaire de sous excitation.

Courant d'excitation entraîne la diminution de. Où donc le compensateur synchrone consomme de la puissance réactive.

Consommée on a, où et le facteur de puissance.

Régime de la puissance active, dans ce cas la puissance réactive n'est pas consommation de la puissance active et fourniture de la puissance réactive au réseau et le facteur de marche est négatif, ici et, un tel régime est appelé régime de surexcitation donc le compensateur synchrone injecte de la puissance réactive dans le réseau. Le réglage de la puissance réactive du compensateur synchrone s'effectue par le réglage du courant d'excitation.

### I.18. Choix du type de compensation :



L'intérêt économique de la compensation est mesuré en comparant le coût d'installation des batteries de condensateurs aux économies qu'elle procure.

Le coût des batteries de condensateurs dépend de plusieurs paramètres dont :

- ❖ La puissance installée.
- ❖ Le niveau de tension.
- ❖ Le fractionnement en gradins.
- ❖ Le mode de commande.
- ❖ Le niveau de qualité de la protection.

### I.19. Choix de la localisation :

#### I.19.1. Compensation globale :

La batterie est raccordée en tête d'installation et assure la compensation pour l'ensemble des charges. Elle convient lorsqu'on cherche essentiellement à supprimer les pénalités et soulager le poste de transformation.

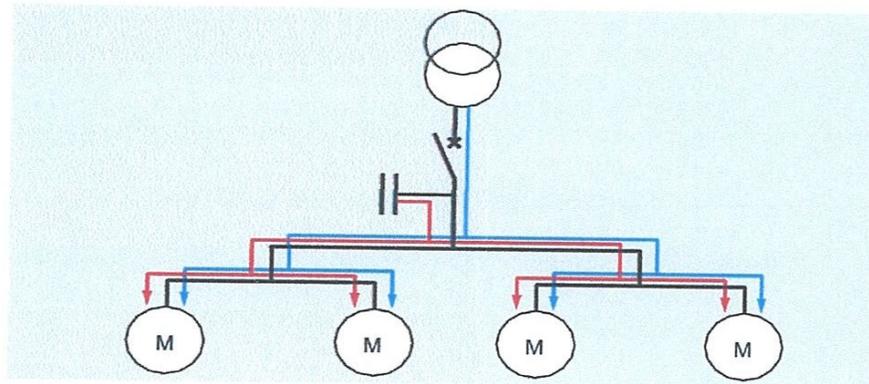


Fig. (I.4)

**Avantage :**

- ❖ 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 permettent des batteries bien optimisées.
- ❖ Soulage le transformateur.

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

**I.19.2. Compensation locale ou par secteurs :**

La batterie est installée en tête du secteur d'installation à compenser. Elle convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charges sont différents.

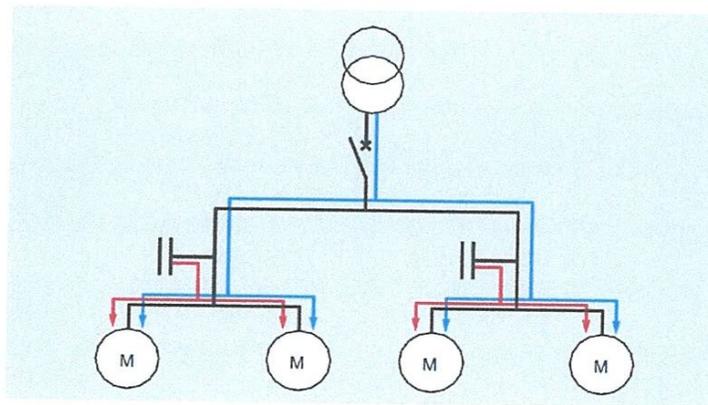


Fig. (I.5)

**Avantage :**

- ❖ Supprime la facturation d'énergie réactive.

- ❖ Soulage une grande partie des FEEDERS d'alimentation et diminue dans ces FEEDERS les pertes joules.
- ❖ Intègre le foisonnement de chaque secteur.
- ❖ Soulage le transformateur.
- ❖ Reste économique.

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

### I.19.3. Compensation individuelle :

La batterie est accordée directement aux bornes de chaque récepteur inductif (Moteur en particulier). Elle est à envisager lorsque la puissance du moteur est importante par rapport à la puissance souscrite. Cette compensation est techniquement idéale puisqu'elle produit l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée, et en quantité ajustée à la demande.

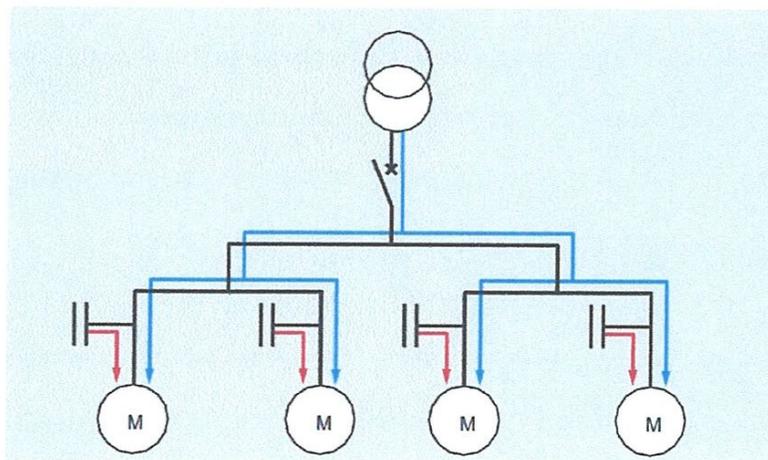


Fig. (I.6)

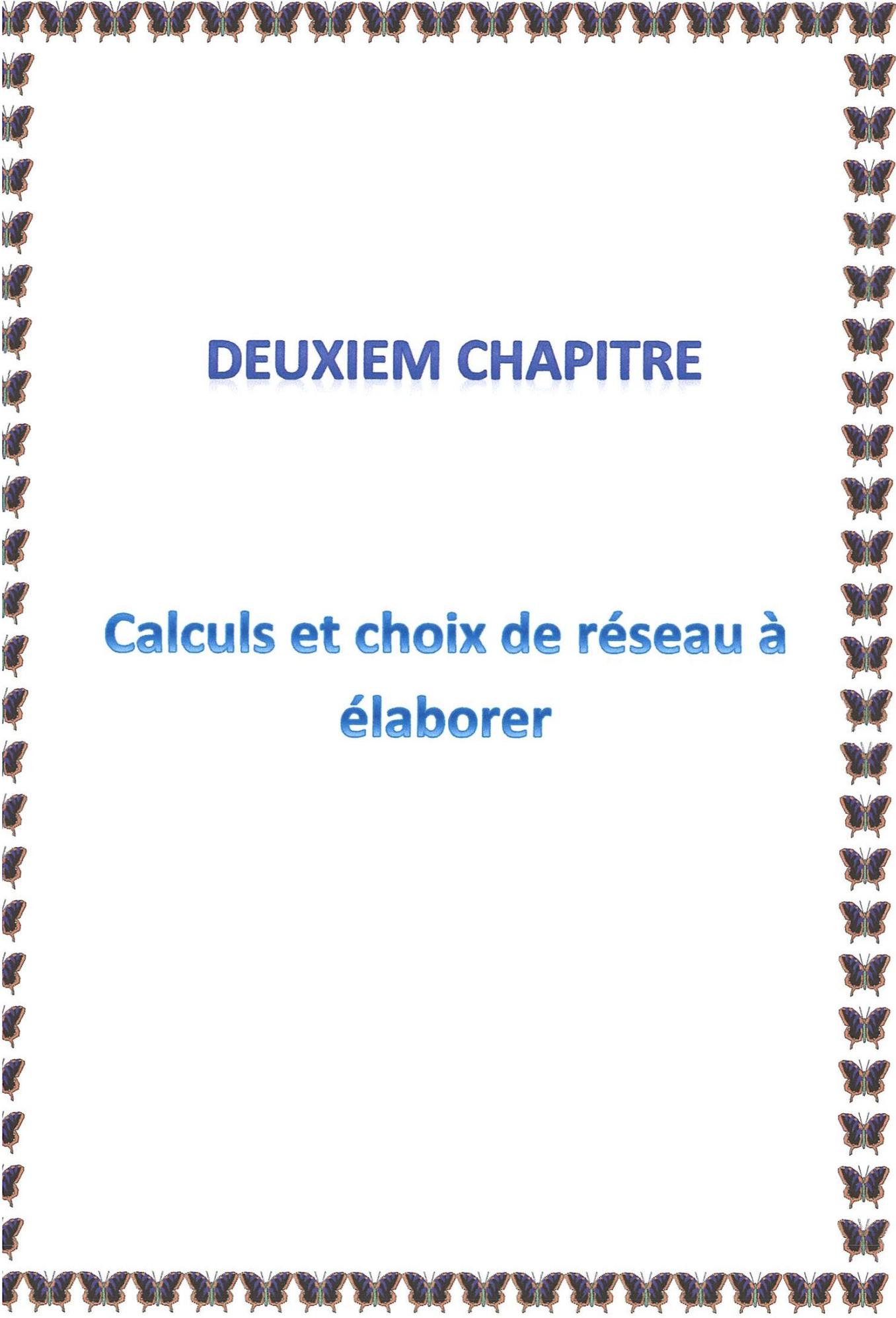
Avantage :

- ❖ 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 sont donc diminuées dans toutes les lignes.
- ❖ Soulager le transformateur.

**Remarque :**

Solution la plus couteuse compte tenu de la multiplicité des installations.

Un non intégration du coefficient de foisonnement.

A decorative border consisting of a repeating pattern of small, stylized butterflies in shades of blue, purple, and brown, arranged in a rectangular frame around the central text.

## DEUXIEM CHAPITRE

# Calculs et choix de réseau à élaborer

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.1. Données initiales de réseau :

Le réseau à élaborer doit alimenter trois charges de puissance  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  dans un plan d'implantation bien déterminé. Pour la détermination des coordonnées de la source (Fig.II.1), on utilise un repère orthogonal d'échelle déterminée.

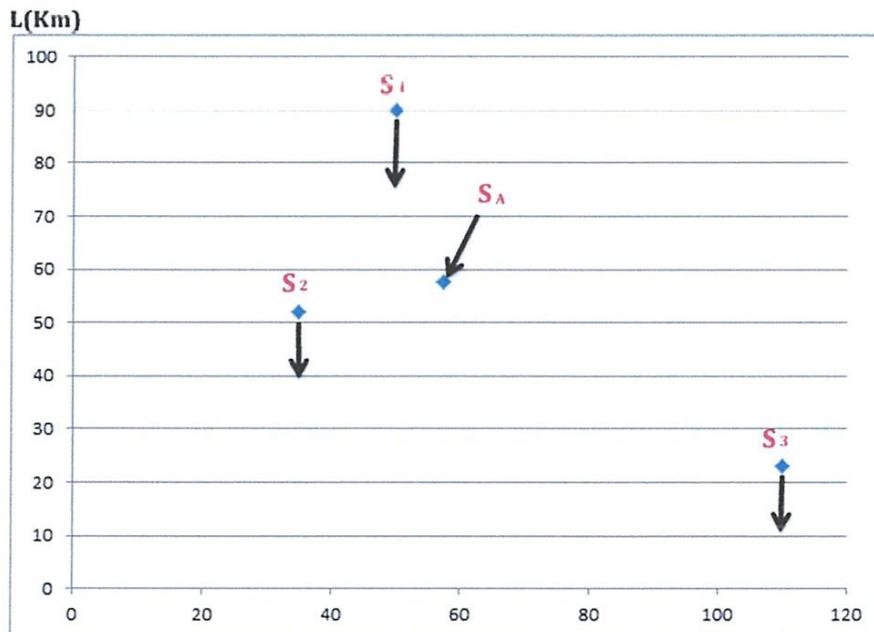


Fig. (II.1.) Plan d'implantation des charges.

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.1.1. Coordonnées des charges :

| $S_i$ | $P_i$ (MW) | $Q_i$ (MVAR) | $X_i$ (Km) | $Y_i$ (Km) |
|-------|------------|--------------|------------|------------|
| $S_1$ | 60         | 50           | 50         | 90         |
| $S_2$ | 40         | 30           | 35         | 52         |
| $S_3$ | 50         | 50           | 110        | 23         |

Tableau (II.1)

### II.1.2. Lieu d'implantation de la source :

La source doit être implantée dans le centre des charges électriques à l'aide des formules des moments électriques

$$P_s.X_s = \sum P_i . X_{i_i} , \quad \text{II.1}$$

$$P_s.Y_s = \sum P_i . Y_{i_i} , \quad \text{II.2}$$

Où :  $P_i$  ,  $X_i$  et  $Y_i$  respectivement la puissance et les coordonnées du ième nœud :

$$X_i = \frac{\sum P_i X_i}{\sum P_i} = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

$$y_i = \frac{\sum P_i Y_i}{\sum P_i} = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + P_3 Y_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

$$X_s = 66\text{km},$$

$$Y_s = 57.53\text{Km},$$

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

Les coordonnées obtenues définissent le lieu du Centre des charges actives ou on doit installer, éventuellement, la source d'alimentation du réseau.

Si une source d'énergie est disponible dans le voisinage du territoire considéré comme c'est le cas en règle générale (système, centrale ...) on doit dans ce cas, étudier et comparer deux possibilités essentielles de configuration du réseau à élaborer. On peut, en effet, alimenter le réseau directement à partir de la source existante, ou bien installer dans le centre défini des charges un poste local d'alimentation, lequel sera alimenté à partir de la source existante.

Pour réaliser un choix adéquat il est nécessaire de développer une étude et une comparaison technico-économique.

### II.1.3. Distance entre les nœuds et la source :

| lignes | $L_{A-1}$ | $L_{A-2}$ | $L_{A-3}$ | $L_{1-2}$ | $L_{2-3}$ | $L_{1-3}$ |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| L(Km)  | 37        | 32        | 56        | 40        | 80        | 90        |

Tableau (II.2)

### II.1.4. Choix du niveau de tension :

Le niveau de tension dépend de la puissance de transit et de la longueur de transmission. Cette relation est déterminée par l'expression suivante ;

Pour  $L \leq 250$  Km :

$$U = 4.34\sqrt{L(km) + 0.016P(kw)}$$

Ou bien pour  $P=50$ MW et  $L_{A-3} = 56$  Km, on détermine :

$$U = 4.34\sqrt{56 + 0.016.50.1000} = 126.97 \text{ KV}$$

On choisit, alors la tension nominale juste supérieure à la première valeur ; c'est - à - dire :

$$U_n = 220 \text{ Kv}$$

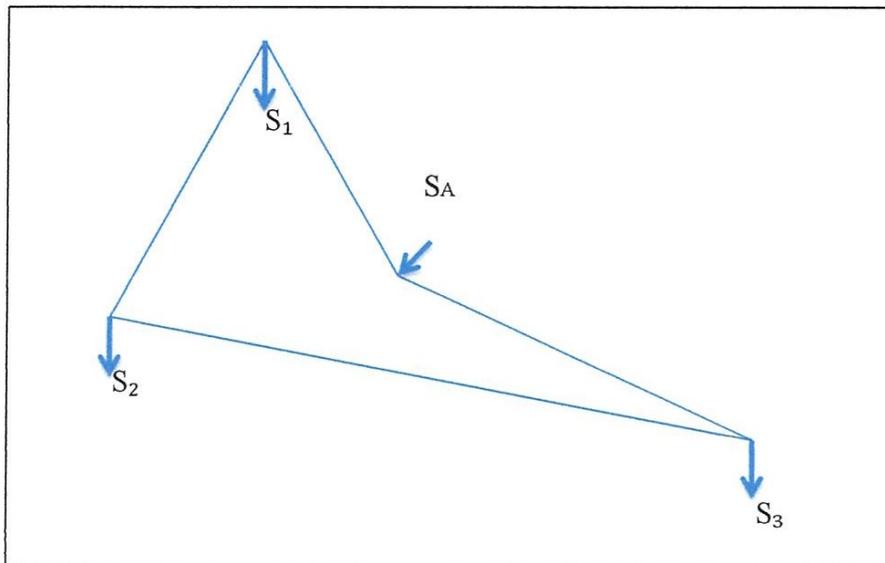
## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.2.1. Choix du schéma du réseau électrique :

Le schéma des variantes préliminaires est choisi sous condition essentielle de continuité de service ; puisque les consommateurs sont de première catégorie. Le nombre de variantes répondant à ce critère peut être plus ou moins élevé, suivant le nombre des consommateurs. Pour des raisons de simplification dans le cas considéré. On se limite à l'étude de 2 variantes. Une comparaison techno-économique permettra ensuite de retenir la plus convenable.

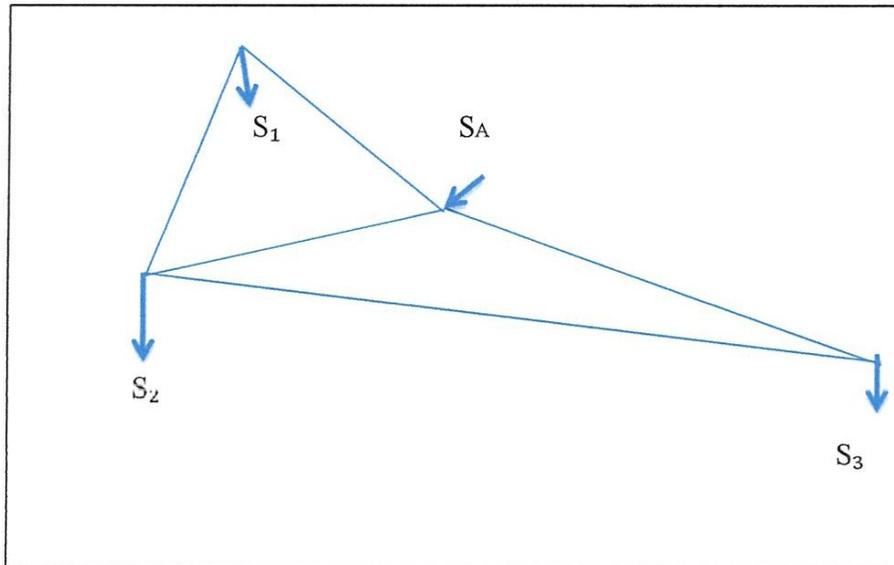
Une autre procédure du choix de schéma utilise un critère techno-économique appliqué à la fonction des dépenses réduites.

#### Première variante :



## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

**Deuxième variante :**



### **II.2.2. calcul de la distribution des puissances :**

**Première variante :**

Cette variante est une boucle. Cette dernière peut être ouverte fictivement dans le nœud de la source et représentée sous forme d'une ligne magistrale alimentée de deux côtés comme le montre la figure suivante. Pour calculer ce schéma, on utilise les équations des moments électriques par rapport à un point donné (par exemple A-A').

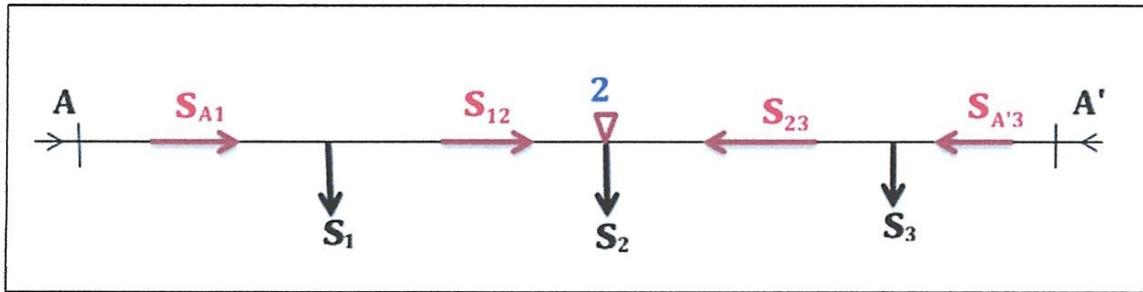


Fig. (II.2)

**Calcul des puissances de la ligne :**

D'une manière générale l'équation d'équilibre des moments par rapport au nœud A s'exprime,

$$S_{A1} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i L_{iA'}}{Z_{AA'}} + U_N \frac{(U_A - U_{A'})}{Z_{AA'}}, \quad (\text{II.3})$$

On doit remarquer que dans le cas considéré les paramètres du réseau (admittances et impédances) sont, initialement, inconnus mais à déterminer. Donc on ne peut utiliser directement les dernières formules. Mais on peut supposer, dans une première étape de calcul, que les impédances linéiques  $(r_i + j x_i)$  sont les mêmes pour toutes les branches. Les expressions précédentes seront donc fonction, seulement, des puissances et des longueurs ; ce qui permet de calculer les puissances de ligne. Dans ces expressions on suppose aussi que les tensions dans chaque nœud sont pratiquement égales à la tension nominale ( $U_A = U_{A_i}$ ) et que les admittances sont négligeables.

On écrit, ainsi, à partir du nœud A,

$$S_{A1} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i L_{iA'}}{L_{AA'}}$$

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

L'application pour cette branche donne ;

$$S_{A1} = \frac{S_{A'1}L_{1A'} + S_{A'2}L_{A'2} + S_{A'3}L_{A'3}}{L_{AA'}} = 88.26 + j73.61 \text{ (MVA)}$$

La même expression écrite pour le nœud A', donne,

$$S_{A3} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i L_{iA'}}{L_{AA'}} = 61.74 + j56.39 \text{ (MVA)}$$

Les autres puissances de ligne peuvent être déterminées par la loi du nœud. Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant ;

| $S_{A1}$ (MVA) | $S_{12}$ (MVA) | $S_{23}$ (MVA) | $S_{A'3}$ (MVA) |
|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 88.26+j73.61   | 28.26+j23.61   | 11.74+j6.39    | 61.74+j56.39    |

Tableau (II.3)

### Deuxième variante :

La deuxième variante est constituée de deux mailles. Pour le calcul des puissances de ligne, on peut utiliser la méthode des tensions nodales ou la méthode des puissances de contours.

Dans la première, on doit définir un système d'équations indépendantes des nœuds pour lesquels les tensions inconnues sont à déterminer ; dans la deuxième, on utilise les équations d'équilibre des mailles dans lesquelles on donne, pour chaque contour, une puissance inconnue à déterminer ; les autres puissances de ligne étant exprimées par les puissances inconnues. Ainsi, on définit les deux contours indépendants de la variante considérée.

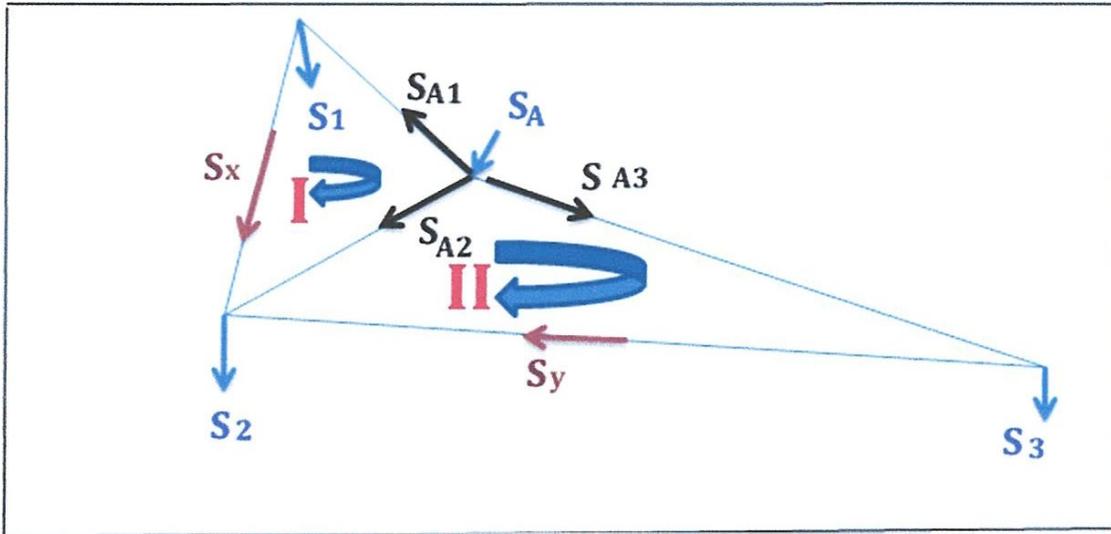


Fig. (II.3)

On exprime ;

$$S_{A1} = S_x + S_1$$

$$S_{A2} = S_2 - S_x - S_y$$

$$S_{A3} = S_3 + S_y$$

**Contour I:**

$$S_{A2}L_{A2} - S_xL_{21} - S_{A1}L_{A1} = 0$$

$$32(S_2 - S_x - S_y) - 40S_x - 37(S_x + S_1) = 0$$

En remplaçant, dans ces équations, les puissances de ligne par leur expression et en réduisant, on obtient,

$$-109S_x - 32S_y = 940 + j890$$

**Contour II :**

$$S_{A3}L_{A3} + S_yL_{23} - S_{A2}L_{A2} = 0$$

$$56(S_3 + S_y) + 80S_y - 32(S_2 - S_x - S_y) = 0$$

$$32S_x + 168S_y = -1520 - j1840$$

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

---

$$\begin{cases} -109S_x - 32S_y = 940 + j890 \\ 32S_x + 168S_y = -1520 - j1840 \end{cases}$$

$$S_x = -6.32 - j5.24$$

$$S_y = -7.84 - j9.95$$

$$S_{A3} = 42.16 + j40.05$$

$$S_{A2} = 54.16 + j45.2$$

$$S_{A1} = 53.68 + j44.76$$

### II.2.3. Choix des sections des conducteurs :

Pour choisir la section des conducteurs en se base fondamentalement sur :

- Recherche de minimum des dépenses réduites ( $D_r = \min$ ).
- La valeur finale de la section choisie doit vérifier les conditions complémentaires.
  - ✓ Echauffement.
  - ✓ L'effet couronne.
  - ✓ Chute de tension admissible (réseau de distribution).

Pour les cas pratiques, on peut utiliser directement la formule,

$$F = \frac{I_{max}}{J_{éco}}, \text{ mm}^2 \quad (\text{II.4})$$

$I_{max}$  courant en régime maximal de charge, définie par :

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{U_N \sqrt{3}} \quad (\text{II.5})$$

Ou :  $J_{éco}$  : densité économique ( $A/\text{mm}^2$ ).

La densité économique est normalisée en fonction du  $\tau$  (temps de pertes maximale)

$$J_{éco} = 1(A/\text{mm})$$

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.3. Calcul des variantes :

#### II.3.1. Calcul des courants des lignes et des sections:

##### Première variante :

| ligne            | S(MVA)       | S MVA  | I (A)  | F (mm <sup>2</sup> ) | type   |
|------------------|--------------|--------|--------|----------------------|--------|
| L <sub>A1</sub>  | 88.26+j73.61 | 114.92 | 301.58 | 301.58               | AC 300 |
| L <sub>12</sub>  | 28.26+j23.61 | 36.82  | 96.62  | 96.62                | AC 240 |
| L <sub>23</sub>  | 11.74+j6.39  | 13.36  | 35.06  | 35.06                | AC 240 |
| L <sub>A'3</sub> | 61.74+j56.39 | 83.61  | 219.41 | 219.41               | AC 240 |

Tableau (II.4)

##### Deuxième variante :

| ligne           | S(MVA)       | S (MVA) | I(A)   | F (mm <sup>2</sup> ) | type   |
|-----------------|--------------|---------|--------|----------------------|--------|
| L <sub>A1</sub> | 53.68+j44.76 | 69.89   | 183.4  | 183.4                | AC 240 |
| L <sub>12</sub> | 6.32+j5.24   | 8.21    | 21.54  | 21.54                | AC 240 |
| L <sub>A2</sub> | 54.16+j45.2  | 70.54   | 185.12 | 185.12               | AC 240 |
| L <sub>23</sub> | 7.84+j9.95   | 12.66   | 33.22  | 33.22                | AC 240 |
| L <sub>A3</sub> | 42.16+j40.05 | 58.15   | 152.60 | 152.60               | AC 240 |

Tableau (II.5)

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.3.2. Calcul des paramètres des lignes :

La valeur des sections choisies détermine celle des paramètres linéiques correspondons. Ces dernier, sont saisis dans les tableaux suivants ;

#### Première variante:

| ligne           | L(Km) | F (mm <sup>2</sup> ) | r <sub>0</sub> (Ω/km) | x <sub>0</sub> (Ω/km) | b <sub>0</sub> 10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-1</sup> /Km) | r (Ω) | X (Ω) | b 10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---|-------|-------|---------------------------------------|
| L <sub>A1</sub> | 37    | 300                  | 0.108                 | 0.422                 | 2.7   | 3.99  | 15.61 | 99.9                                  |
| L <sub>12</sub> | 40    | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 5.2   | 17.2  | 106.4                                 |
| L <sub>23</sub> | 80    | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 10.4  | 34.4  | 212.8                                 |
| L <sub>A3</sub> | 56    | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 7.28  | 24.08 | 148.96                                |

Tableau (II.6)

#### Deuxième variante :

| ligne           | L (km) | F (mm <sup>2</sup> ) | r <sub>0</sub> (Ω/km) | x <sub>0</sub> (Ω/km) | b <sub>0</sub> 10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-1</sup> /km) | r (Ω) | X (Ω) | b 10 <sup>-6</sup> (Ω <sup>-6</sup> ) |
|-----------------|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---|-------|-------|---------------------------------------|
| L <sub>A1</sub> | 37     | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 4.81  | 15.91 | 98.42                                 |
| L <sub>12</sub> | 40     | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 5.2   | 17.2  | 106.4                                 |
| L <sub>A2</sub> | 80     | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 10.4  | 34.4  | 212.8                                 |
| L <sub>23</sub> | 32     | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 4.16  | 13.76 | 85.12                                 |
| L <sub>A3</sub> | 56     | 240                  | 0.13                  | 0.43                  | 2.66  | 7.28  | 24.08 | 148.96                                |

Tableau (II.7)

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.3.3.Évaluation des pertes de puissance :

$$S = P + j Q$$
$$\Delta S = \Delta P + j \Delta Q$$

Les pertes sont calculées, dans une première étape, par la tension nominale.

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_N^2} r(MVA) \quad (II.6)$$

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U_N^2} x(MVAR) \quad (II.7)$$

Première variante :

| ligne        | L (km)     | S(MVA) | r (Ω) | X (Ω) | ΔP(MW)      | ΔQ(MVAR)    | ΔS(MVA)           |
|--------------|------------|--------|-------|-------|-------------|-------------|-------------------|
| A-1          | 37         | 114.92 | 4     | 15.6  | 1.09        | 4.26        | 1.09+j4.26        |
| 1-2          | 40         | 36.82  | 5.2   | 17.2  | 0.14        | 0.48        | 0.14+j0.48        |
| 2-3          | 80         | 13.36  | 10.4  | 34.4  | 0.03        | 0.12        | 0.03+j0.12        |
| A-3          | 56         | 83.61  | 7.28  | 24.1  | 1.05        | 3.47        | 1.05+j3.47        |
| <b>total</b> | <b>213</b> |        |       |       | <b>2.31</b> | <b>8.33</b> | <b>2.31+j8.33</b> |

Tableau (II.8)

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### Deuxième variante :

| ligne | L(km) | S(MVAR) | r( $\Omega$ ) | x( $\Omega$ ) | $\Delta P$ (MW) | $\Delta Q$ (MVAR) | $\Delta S$ (MVA) |
|-------|-------|---------|---------------|---------------|-----------------|-------------------|------------------|
| A-1   | 37    | 69.89   | 4.81          | 15.91         | 0.48            | 1.73              | 0.48+j1.73       |
| 1-2   | 40    | 8.21    | 5.2           | 17.2          | 0.007           | 0.02              | 0.007+j0.02      |
| 2-3   | 80    | 12.66   | 10.4          | 34.4          | 0.03            | 0.11              | 0.03+j0.11       |
| A-2   | 32    | 70.54   | 4.16          | 13.76         | 0.43            | 1.41              | 0.43+j1.41       |
| A-3   | 56    | 58.15   | 7.28          | 24.08         | 0.5             | 1.68              | 0.5+j1.68        |
| total | 245   |         |               |               | 1.45            | 4.95              | 1.45+j4.95       |

Tableau (II.9)

### II.4. Comparaison techno-économique des variantes :

Pour la comparaison techno-économique des variantes, on utilise les dépenses ramenées ;

$$D_{\square} = P_n K + D_{an} + D$$

$P_n$  : coefficient normalisé d'efficacité des investissements.

$P_n$  : 0.12 pour l'énergétique.

$K$  : sont les investissements du réseau (prix de construction).

$D_{an}$  : sont les dépenses annuelles du réseau.

Elles se composent des dépenses d'amortissement ( $D_{am}$ ), de celles d'entretien ( $D_{en}$ ) et du prix de l'énergie perdue ( $D_{per}$ )

$$D_{an} = D_{am} + D_{en} + D_{per}.$$

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

D : les dommages provoqués par l'interruption d'alimentation en énergie électrique. Si la sûreté d'alimentation des variantes comparées est la même, on ne tient pas compte de cette valeur.

Dam : dépenses destinées à renouveler le réseau après son usure et aux réparations capitales du réseau.

$$\text{Dam} = \text{Pam.K.}$$

Den : dépenses destinées à la réparation courante, le salaire des travailleurs.

$$\text{Den} = \text{Pen.K.}$$

Pen : coefficient évalué comme pourcentage de K

$$\text{Dper} = \delta(\alpha. Km. \Delta P_{max} + b. \Delta W)$$

$\delta$  : Coefficient qui tient compte de l'accroissement du prix de l'énergie électrique en dépendance de la distance entre le réseau et la centrale ;

$\delta = 1.05 \div 1.1$  : pour les réseaux de 110KV et plus,

$\delta = 1.1 \div 2$  : pour les réseaux de 6 ÷ 35KV.

$\alpha$  : dépenses spécifique qui sont nécessaires pour augmenter la puissances des Centrales pour ouvrir les pertes de puissance dans le réseau.

Km : le coefficient de simultanéité de la charge de calcul avec le maximum du système. Pour le cas considère, on prend par exemple ; Km = 1.

$\Delta P_{max}$  : pertes maximales de puissance.

$\Delta W$  : perte de l'énergie.

Les pertes d'énergie annuelles peuvent être déterminées comme suite,

$$\Delta W = \frac{\Delta P'_{max}. L. \tau. 0.81}{\cos^2 \varphi}$$

Ou ;

$\Delta P'_{max}$  : perte de puissance active d'un Km de ligne ; [KW /Km]

$$\Delta P'_{max} = \frac{S^2_{max}}{Un^2} \cdot r_0$$

$\tau = (0.124 + \frac{T_{max}}{10^4})^2 \cdot 8760$  : temps des pertes maximales.

8760 = 365 jours × 24 heur

Tmax : Temps d'utilisation de la charge maximale.

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

---

L : longueur de ligne.

R : résistance de la ligne,  $R = r_0.L$ .

$$D_{per} = \delta. (\alpha. Km. \Delta P_{max} + b. \Delta W). \frac{\Delta W}{\Delta W} = \delta. \left( \alpha. Km. \frac{\Delta P_{max}}{\Delta W} + b \right). \Delta W = \gamma_2. \Delta W.$$

$\gamma_2 = \frac{\alpha.Km}{\tau} + b$  : s'appelle ; « prix d'un KWh perdu ».

b : prix moyen de revient de l'énergie électrique.

On donne à cette valeur :  $\gamma_2 = 10DA/KW$ .

### ❖ Pertes de l'énergie dans un transformateur :

$$\Delta W_t = n. \Delta P_0 + \frac{\Delta P_a S^2_{max}}{n S^2_N} . \tau$$

Ou ; n : nombre des transformateurs ; T = 8760h.

Les résultats de calcul sont saisis dans le tableau. Les dépenses qui sont les mêmes pour les deux variantes ne sont pas prises en compte.

Pendant le calcul du prix de construction des postes des transformateurs, on suppose que chaque branche haute-tension a un disjoncteur. La meilleure variante est celle dont les dépenses ramenées sont minimales.

Pour les calculs techno-économiques ; il est admissible d'utiliser une méthode simple de détermination des pertes d'énergie dans les lignes.

### II.4.1. Application numérique :

#### II.4.1.1. Pertes d'énergie dans les lignes pour les deux variantes :

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

**Première variante :**

| ligne        | L(Km) | $r_0(\Omega/\text{Km})$ | $R=r_0 \cdot L(\Omega)$ | $\Delta P'_{\max}(MW)$ | $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ | $\Delta Wt(KWh)$ |
|--------------|-------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|------------------|
| $L_{A1}$     | 37    | 0.108                   | 3.9                     | 0.0294                 | 0.76                         | 9073.302         |
| $L_{12}$     | 40    | 0.13                    | 5.2                     | 0.0036                 | 0.76                         | 1201.098         |
| $L_{23}$     | 80    | 0.13                    | 10.4                    | 0.0004                 | 0.87                         | 203.683          |
| $L_{A3}$     | 56    | 0.13                    | 7.2                     | 0.0187                 | 0.73                         | 9467.327         |
| <b>Total</b> |       |                         |                         |                        |                              | 19945.41         |

Tableau (II.10)

**Deuxième variante :**

| ligne        | L(Km) | $r_0(\Omega/\text{Km})$ | R ( $\Omega$ ) | $\Delta P'_{\max}(MW)$ | $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ | $\Delta Wt(KWh)$ |
|--------------|-------|-------------------------|----------------|------------------------|------------------------------|------------------|
| $L_{A1}$     | 37    | 0.13                    | 8.7            | 0.0131                 | 0.76                         | 4042.865         |
| $L_{12}$     | 40    | 0.13                    | 5.2            | 0.0001                 | 0.77                         | 32.503           |
| $L_{23}$     | 80    | 0.13                    | 10.4           | 0.0004                 | 0.62                         | 401.061          |
| $L_{A2}$     | 32    | 0.13                    | 4.1            | 0.0133                 | 0.76                         | 3549.914         |
| $L_{A3}$     | 56    | 0.13                    | 7.2            | 0.0091                 | 0.72                         | 4735.958         |
| <b>total</b> |       |                         |                |                        |                              | 12762.301        |

Tableau (II.11)

**Remarque :**  $\tau = 5947.829$

## Deuxième chapitre : Calculs et choix de réseau à élaborer

### II.4.1.2. Calcul des dépenses ramenées :

| Indices économiques   | Investissement en milles DA  |  |
|---|--|--|
|   | Variante I   | Variante II  |
| <b>Type de section :</b><br>F = 240(mm <sup>2</sup> )<br><br>F = 300(mm <sup>2</sup> )  | $L = L_{12} + L_{23} + L_{A3}$<br>$L = 40 + 80 + 56 = 167$<br><br>$176 * 98.4 = 17318.4$<br><br>$L_{A1} = 37$<br>$37 * 123 = 4551$ | $L = L_{A1} + L_{12} + L_{23} + L_{A2} + L_{A3}$<br>$L = 37 + 40 + 80 + 32 + 56 = 245$<br>$245 * 98.4 = 24108$ |
| <b>Ligne aériennes :</b>  | <b>21869.4</b>   | <b>24108</b>   |
| <b>Cellule 220 (KV) de tableau :</b>  | 110 * 1100 = <b>12100</b>  | 13 * 1100 = <b>14300</b>   |
| <b>Investissements K</b>  | <b>33969.4</b>   | <b>38408</b>   |
| <b>Dépense (milles DA /an)</b><br><br>Dam + Den = (Pam + Pen).K<br><b>Lignes aériennes :</b> Pen + Pam = 2.8%<br><b>Poste :</b> Pen + Pam = 8.4%<br><br><b>Pertes d'énergie :</b> $\gamma_2 = 10\text{DA/Km}$ | $(2.8\%).21869.4 = 612.343$<br>$(8.4\%).12100 = 1016.4$<br>$19945.41 * 10 = 199454.1$  | $(2.8\%).24108 = 675.024$<br>$(8.4\%).14300 = 1201.2$<br>$12762.301 * 10 = 127623.01$                          |
| <b>Dépense annuelle :</b><br>Dan = Dam + Den + $\gamma_2 \cdot \Delta Wt$   | <b>201082.843</b>  | <b>129499.234</b>  |
| <b>Dépense ramenée :</b><br>Dram = PnK + Dan  | $0.12 * 33969.4 + 201082.843 = 205159.171$   | $0.12 * 38408 + 129499.234 = 134108.194$   |

Tableau (II.12)

## Deuxième chapitre :      Calculs et choix de réseau à élaborer

En conclusion, on retient la deuxième variante puisque les dépenses réduites correspondantes sont comparativement plus petites.

A decorative border consisting of a repeating pattern of small, stylized butterflies in shades of blue, purple, and brown, arranged in a rectangular frame around the central text.

## TROISIEM CHAPITRE

# Vérification du régime et compensation

## Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

### III.1. Choix des transformateurs pour la variante choisie :

On installe dans les postes de transformation du réseau électrique à haute tension d'habitude, deux transformateurs parce que tous les consommateurs sont de la première catégorie. La puissance de chacun deux ( $S_N$ ) est choisie d'après la formule suivante ;

$$S_N = (0.65 \div 0.7) S_{max}$$

Ou' :

$S_N$  : la puissance nominale du transformateur.

$S_{max}$  : la puissance maximale de poste.

| poste | Nombre de transformateur | $S_N = 0.7 S_{max}$<br>(MVA) | $S_N$ (MVA) du transformateur | Type des transformateurs |
|-------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1     | 2                        | $0.7\sqrt{(60)^2 + (50)^2}$  | 63                            | TP AUH<br>6300/230       |
| 2     | 2                        | $0.7\sqrt{(40)^2 + (30)^2}$  | 32                            | TP AUH<br>32000/220      |
| 3     | 2                        | $0.7\sqrt{(50)^2 + (50)^2}$  | 63                            | TP AUH<br>6300/230       |

Tableau (III.1)

#### III.1.1. paramètres des transformateurs choisis :

| poste | Type des transformateurs | $U_N$ | $U_{cc}$<br>% | $\Delta P_{cc}(KW)$ | $\Delta P_o(KW)$ | $I_o$ | $r(\Omega)$ | $X(\Omega)$ | $\Delta Q_o$ |
|-------|--------------------------|-------|---------------|---------------------|------------------|-------|-------------|-------------|--------------|
| 1     | TP. AUH<br>63000/230     | 230   | 12            | 167                 | 53               | 0.9   | 8.66        | 198.5       | 288          |
| 2     | TP. AUH<br>32000/220     | 230   | 11            | 300                 | 82               | 0.8   | 4           | 100         | 504          |
| 3     | TP. AUH<br>63000/230     | 230   | 12            | 167                 | 53               | 0.9   | 8.66        | 198.5       | 288          |

Tableau (III.2)

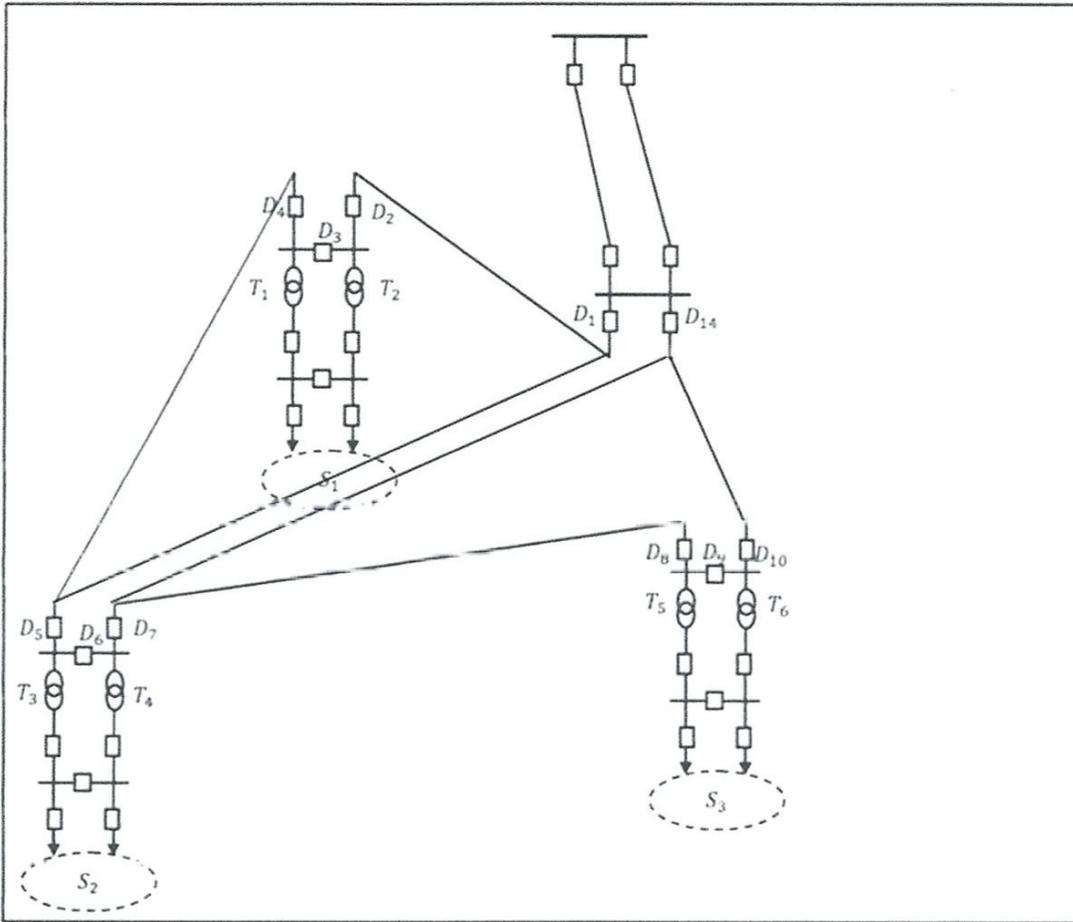


Fig. (III.1)

### III.1.2. calcul des pertes dans les postes :

$$\Delta S_{t_{1,1}'} = \Delta P_{t_{1,1}'} + jQ_{t_{1,1}'} = \left( \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot \frac{rt_1}{2} + 2 \cdot \Delta P_0 \right) + j \left( \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot \frac{Xt_1}{2} + 2 \cdot \Delta Qu_1 \right)$$

$$\Delta S_{t_{2,2}'} = \Delta P_{t_{2,2}'} + jQ_{t_{2,2}'} = \left( \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot \frac{rt_2}{2} + 2 \cdot \Delta P_0 \right) + j \left( \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot \frac{Xt_2}{2} + 2 \cdot \Delta Qu_2 \right)$$

$$\Delta S_{t_{3,3}'} = \Delta P_{t_{3,3}'} + jQ_{t_{3,3}'} = \left( \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} \cdot \frac{rt_3}{2} + 2 \cdot \Delta P_0 \right) + j \left( \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} \cdot \frac{Xt_3}{2} + 2 \cdot \Delta Qu_3 \right)$$

#### Remarque :

$U_1, U_2,$  et  $U_3$  : tensions primaires des transformateurs.

$t_{1,1}', t_{2,2}'$  et  $t_{3,3}'$  : respectivement pour la marche en charge.

**III.1.3. Calcul des puissances des charges réduites des postes (HT) :**

$$S_1' = S_1 + \Delta S_{t_{1,1}}' = (P_1 + \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot \frac{rt_1}{2} + 2 \cdot \Delta P_0) + j (Q_1 + \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} \cdot \frac{xt_1}{2} + 2 \cdot \Delta Q_{u_1})$$

$$S_2' = S_2 + \Delta S_{t_{2,2}}' = (P_2 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot \frac{rt_2}{2} + 2 \cdot \Delta P_0) + j (Q_2 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} \cdot \frac{xt_2}{2} + 2 \cdot \Delta Q_{u_2})$$

$$S_3' = S_3 + \Delta S_{t_{3,3}}' = (P_3 + \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} \cdot \frac{rt_3}{2} + 2 \cdot \Delta P_0) + j (Q_3 + \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_3^2} \cdot \frac{xt_3}{2} + 2 \cdot \Delta Q_{u_3})$$

**NB :**  $U_1, U_2$  et  $U_3 = 230\text{KV}$  pour les transformateurs en charge.

**III.1.4. Calcul des puissances des charges réduites des nœuds (HT) :**

$$S_{n_1} = S_1' - j Q_{c_{1,1}} - j Q_{c_{1,2}} = P_1' + j (Q_1' - Q_{c_{1,1}} - Q_{c_{1,2}})$$

$$S_{n_2} = S_2' - j Q_{c_{2,1}} - j Q_{c_{2,2}} = P_2' + j (Q_2' - Q_{c_{2,1}} - Q_{c_{2,2}})$$

$$S_{n_3} = S_3' - j Q_{c_{3,1}} - j Q_{c_{3,2}} = P_3' + j (Q_3' - Q_{c_{3,1}} - Q_{c_{3,2}})$$

**II.5.5. Calcul des puissances écoulees dans l'enroulement des transformateurs :**

$$S_{t_{1,1}} = S_1' - 2 \cdot \Delta S_0 = (P_1' - 2 \cdot \Delta P_{01}) + j (Q_1' - 2 \cdot \Delta Q_{01})$$

$$S_{t_{2,2}} = S_2' - 2 \cdot \Delta P_{02} = (P_2' - 2 \cdot \Delta P_{02}) + j (Q_2' - 2 \cdot \Delta Q_{02})$$

$$S_{t_{3,3}} = S_3' - 2 \cdot \Delta P_{03} = (P_3' - 2 \cdot \Delta P_{03}) + j (Q_3' - 2 \cdot \Delta Q_{03})$$

**II.5.6. Application numérique: (voir le tableau ci-dessous)**

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

| Charge(MVA)<br>Puissances<br>(MVA) | $S_1 = 60 + j50$ | $S_2 = 40 + j 30$ | $S_3 = 50 + j 50$ |
|------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| $\Delta \dot{S}_{i,i'}$            | 0.6053+j12.0207  | 0.2585+j3.3709    | 0.5152+j9.9569    |
| $\dot{S}_i'$                       | 60.6053+j62.0207 | 40.2585+j33.3709  | 50.5152+j59.9569  |
| $\dot{S}_{n,i}$                    | 60.6053+j57.0642 | 40.2585+j23.5865  | 50.5152+j51.2024  |
| $St_{i,i}'$                        | 60.4993+j59.4447 | 40.0945+j32.3629  | 50.4092+j59.3809  |

Tableau (II.3)

#### III.6. Analyse de la variante retenue :

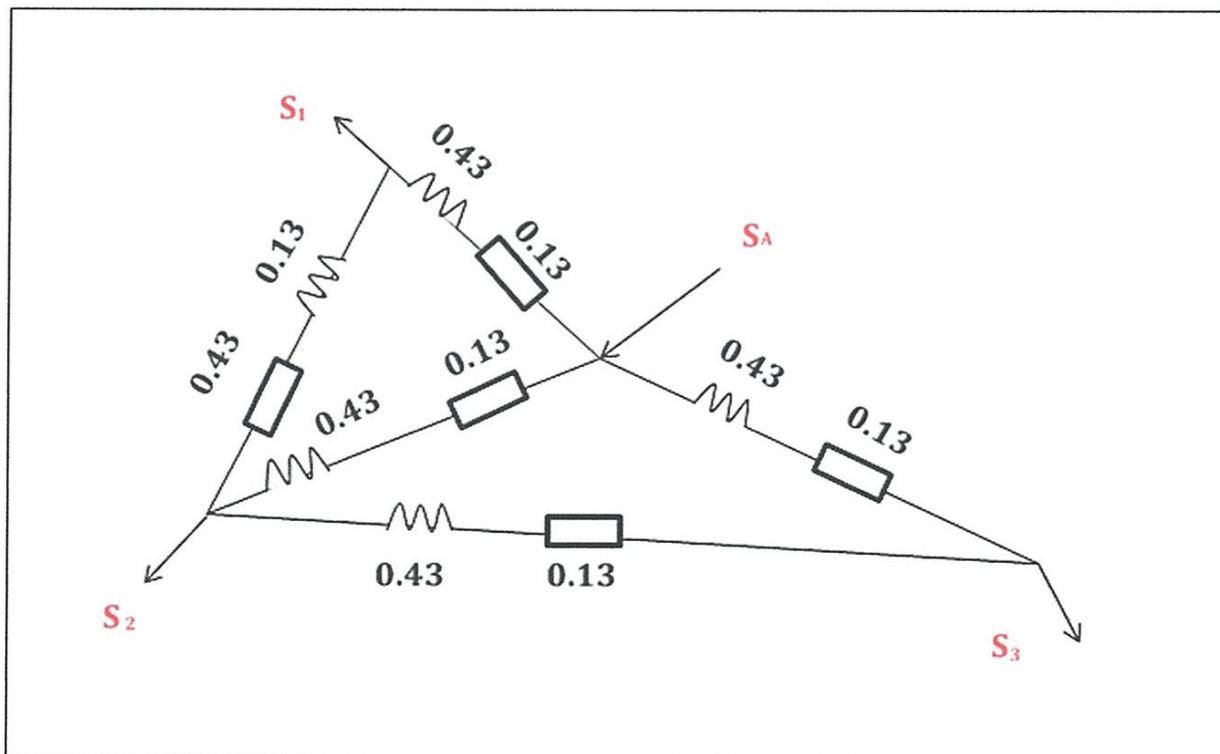


Fig. (III.2)

**III.6.1. Distribution des puissances tenant compte des pertes :**

D'après les calculs réalisés on a :

$$S_1' = 60.6053 + j 62.0207 \text{ (MVA)}$$

$$S_2' = 40.2585 + j 33.3709 \text{ (MVA)}$$

$$S_3' = 50.5152 + j 59.9569 \text{ (MVA)}$$

Pour déterminer les puissances des lignes on utilisée la méthode du contour ;

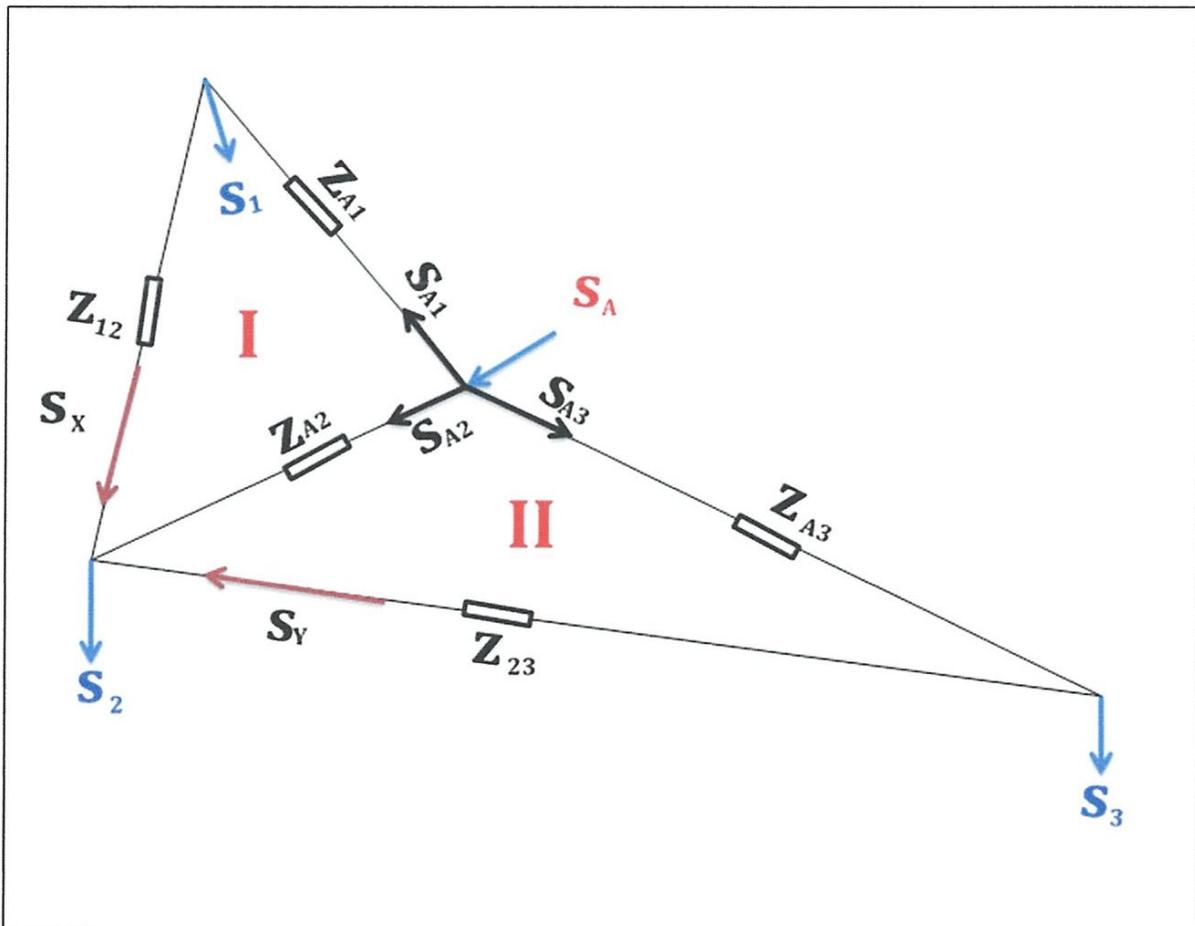


Fig. (III.3)

**Contour I :**

$$S_{A1} = S'_1 + S_X$$

$$S_{A2} = S'_2 - S_X - S_Y$$

On constat que la branche  $L_{A-1}$  a une impédance pratiquement égale à celle des autres. Pour simplifier les calculs on considère donc que  $Z_{A1} = Z_{12} = Z_{13} = Z_{A3} = Z_{A2} = Z_k = \text{constante}$

Dans ce cas on utilise seulement les longueurs.

$$S_{A1}L_{A1} + S_XL_{12} - S_{A2}L_{A2} = 0$$

$$(S'_1 + S_X)L_{A1} + S_XL_{12} - (S'_2 - S_X - S_Y)L_{A2} = 0$$

$$109S_X + 32S_Y = -945.1241 - j 1226.8971$$

**Contour II :**

$$S_{A3} = S'_3 + S_Y$$

$$S_{A3}L_{A3} + S_YL_{23} - S_{A2}L_{A2} = 0$$

$$(S'_3 + S_Y)L_{A3} + S_YL_{23} - (S'_2 - S_X - S_Y)L_{A2} = 0$$

$$32S_X + 168S_Y = -1540.5792 - j 2289.7176$$

$$\Delta = 17288$$

$$\Delta x = -110994.3144 - j 132847.4796$$

$$\Delta y = -13791.1616 - j 2103118.5112$$

$$S_X = \frac{\Delta x}{\Delta}$$

$$S_X = 6.4203 + j 7.6843 \text{ (MVA)}$$

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$S_Y = \frac{\Delta Y}{\Delta}$$

$$S_Y = 7.9471 + j 12.1655 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A1} = 54.185 + j 53.2207 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = 54.6259 + j 53.2207 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A3} = 42.5681 + j 47.7914 \text{ (MVA)}$$

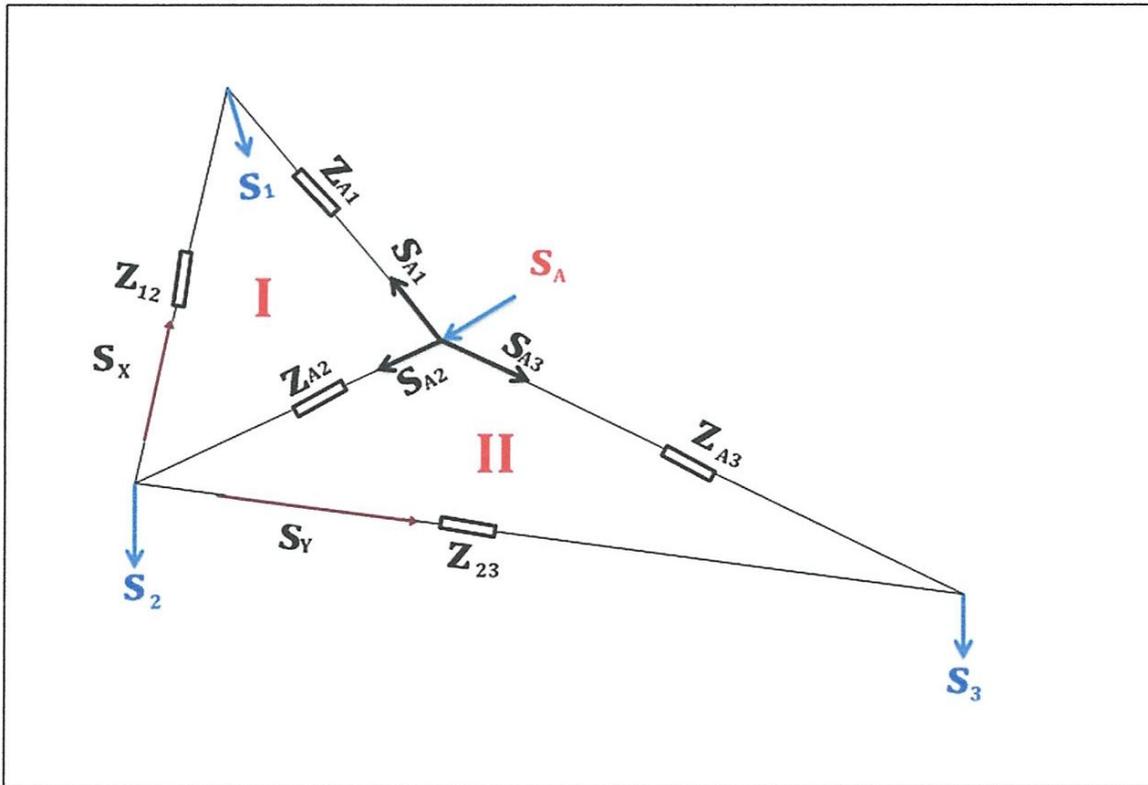


Fig. (III.4)

#### III.6.2. étude de régime normale :

##### III.6.2.1. Première boucle :

➤ Première partie :

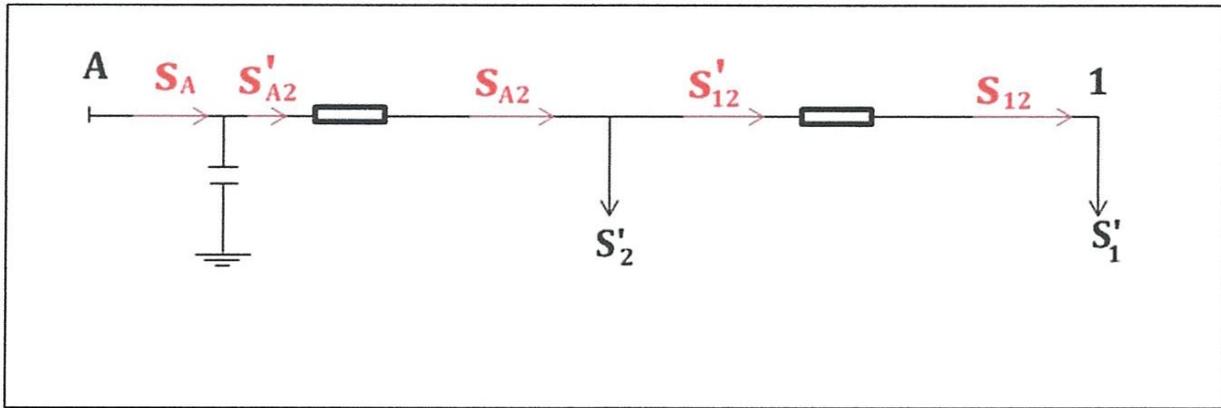


Fig. (III.5)

On suppose que :

$$U_i = U_A = U_N = 220\text{kv}$$

$$S_{12} = S_X = 6.4203 + j 7.6843 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{12} = S_{12} + \Delta S_{12}$$

$$\Delta S_{12} = \left[ \frac{P^2_{12} + Q^2_{12}}{U^2_1} r_0 + j \frac{P^2_{12} + Q^2_{12}}{U^2_1} x_0 \right] \cdot L_{12}$$

$$\Delta S_{12} = 0.0107 + j 0.0356 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{12} = 6.431 + j 7.7199 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = S'_{12} + S'_2 + S_Y$$

$$S_{A2} = 54.6366 + j 53.2563 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = S_{A2} + \Delta S_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = \left[ \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_2} r_0 + j \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_2} x_0 \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = 0.5 + j 1.655 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = 55.1366 + j 54.9113 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = S'_{A2} + j Q_{CA2}$$

$$Q_{CA2} = U_N^2 \frac{b_0}{2} \cdot L_{A2}$$

$$Q_{CA2} = 2.0599 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = 55.1366 + j 52.8514 \text{ (MVA)}$$

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$S_{A2} = S'_{A2} - \Delta S_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = \left[ \frac{P^2_A + Q^2_A}{U^2_A} r_0 + j \frac{P^2_A + Q^2_A}{U^2_A} x_0 \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = 0.5013 + j 1.5683 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = 54.6353 + j 53.253 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{12} = S_{12} - (S'_2 + S_Y)$$

$$S'_{12} = 6.4297 + j 7.7166 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(0)}_2 = U_A - \Delta U_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = \left[ \frac{P_{A2} r_0 + Q_{A2} x_0}{U_A} + j \frac{P_{A2} x_0 - Q_{A2} r_0}{U_A} \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = 4.3638 + j 2.4102 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(0)}_2 = 215.0148 \text{ KV}$$

$$S_{12} = S'_{12} - \Delta S_{12}$$

$$\Delta S_{12} = \left[ \frac{P'^2_{12} + Q'^2_{12}}{U^2_2} r_0 + j \frac{P'^2_{12} + Q'^2_{12}}{U^2_2} x_0 \right] \cdot L_{12}$$

$$\Delta S_{12} = 0.0113 + j 0.0375 \text{ (MVA)}$$

$$S_{12} = 6.4184 + j 7.6791 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_1 = U^{(0)}_2 - \Delta U_{12}$$

$$\Delta U_{12} = \left[ \frac{P_{12} r_0 + Q_{12} x_0}{U_2} + j \frac{P_{12} x_0 - Q_{12} r_0}{U_2} \right] \cdot L_{12}$$

$$\Delta U_{12} = 0.7695 + j 0.3277 \text{ KV}$$

$$U^{(1)}_1 = 214.1785 \text{ KV}$$

$$S'_{12} = S_{12} + \Delta S_{12}$$

$$\Delta S_{12} = \left[ \frac{P^2_{12} + Q^2_{12}}{U^2_1} r_0 + j \frac{P^2_{12} + Q^2_{12}}{U^2_1} x_0 \right] \cdot L_{12}$$

$$\Delta S_{12} = 0.0113 + j 0.0375 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{12} = 6.4297 + j 7.7166 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = S'_{12} + S'_2 + S_Y$$

$$S_{A2} = 54.6353 + j 53.253 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_2 = U^{(1)}_1 + \Delta U_{12}$$

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$\Delta U_{12} = \left[ \frac{P'_{12}r_0 + Q'_{12}x_0}{U_1} + j \frac{P'_{12}x_0 - Q'_{12}r_0}{U_1} \right] \cdot L_{12}$$

$$U^{(1)}_2 = 215.1432 \text{ KV}$$

$$S'_{A2} = S_{A2} + \Delta S_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = \left[ \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_2} r_0 + j \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_2} x_0 \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = 0.5289 + j 1.7495 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = 55.1642 + j 55.0025 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_A = U^{(1)}_2 + \Delta U_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = \left[ \frac{P'_{A2}r_0 + Q'_{A2}x_0}{U_2} + j \frac{P'_{A2}x_0 - Q'_{A2}r_0}{U_2} \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = 4.6228 + j 2.4530 \text{ KV}$$

$$U^{(1)}_A = 220.3765 \text{ KV}$$

Deuxième partie :

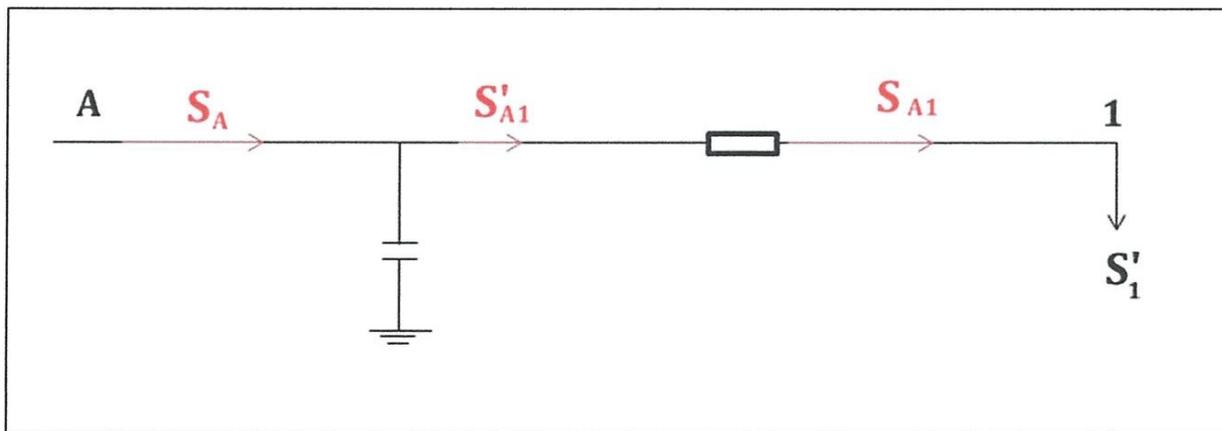


Fig. (III.6)

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$S_{A1} = 54.185 + j 54.3364 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A1} = S_{A1} + \Delta S_{A1}$$

$$\Delta S_{A1} = \left[ \frac{P^2_{A1} + Q^2_{A1}}{U^2_1} r_0 + j \frac{P^2_{A1} + Q^2_{A1}}{U^2_1} x_0 \right] \cdot L_{A1}$$

$$\Delta S_{A1} = 0.5851 + j 1.9356 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A1} = 54.7701 + j 56.272 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = S'_{A1} - j Q_{CA1}$$

$$Q_{CA1} = U^2_1 \cdot \frac{b_0}{2} \cdot L_{A1}$$

$$Q_{CA1} = 2.3817 \text{ (MVAR)}$$

$$S_A = 54.7701 + j 53.8903 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(0)}_1 = U_A - \Delta U_{A1}$$

$$\Delta U_{A1} = \left[ \frac{P^2_{A1} r_0 + Q^2_{A1} x_0}{U_A} + j \frac{P^2_{A1} x_0 - Q^2_{A1} r_0}{U_A} \right] \cdot L_{A1}$$

$$\Delta U_{A1} = 5.1069 + j 2.7305 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(0)}_1 = 214.209 \text{ KV}$$

$$S'_{A1} = S_{A1} - \Delta S_{A1}$$

$$\Delta S_{A1} = \left[ \frac{P^2_{A1} + Q^2_{A1}}{U^2_A} r_0 + j \frac{P^2_{A1} + Q^2_{A1}}{U^2_A} x_0 \right] \cdot L_{A1}$$

$$\Delta S_{A1} = 0.6159 + j 2.0372 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = S'_{A1} - j Q_{CA1}$$

$$Q_{CA1} = U^2_1 \cdot \frac{b_0}{2} \cdot L_{A1}$$

$$Q_{CA1} = 2.3883 \text{ (MVAR)}$$

$$S_A = 54.7732 + j 53.894 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_A = U^{(1)}_1 + \Delta U_{A1}$$

$$\Delta U_{A1} = \left[ \frac{P_{A1} r_0 + Q_{A1} x_0}{U_1} + j \frac{P_{A1} x_0 - Q_{A1} r_0}{U_1} \right] \cdot L_{A1}$$

$$\Delta U_{A1} = 5.4101 + j 2.8043 \text{ KV}$$

$$U^{(1)}_A = 220.3027 \text{ KV}$$

II.6.2.2. Deuxième boucle:

➤ Première partie :

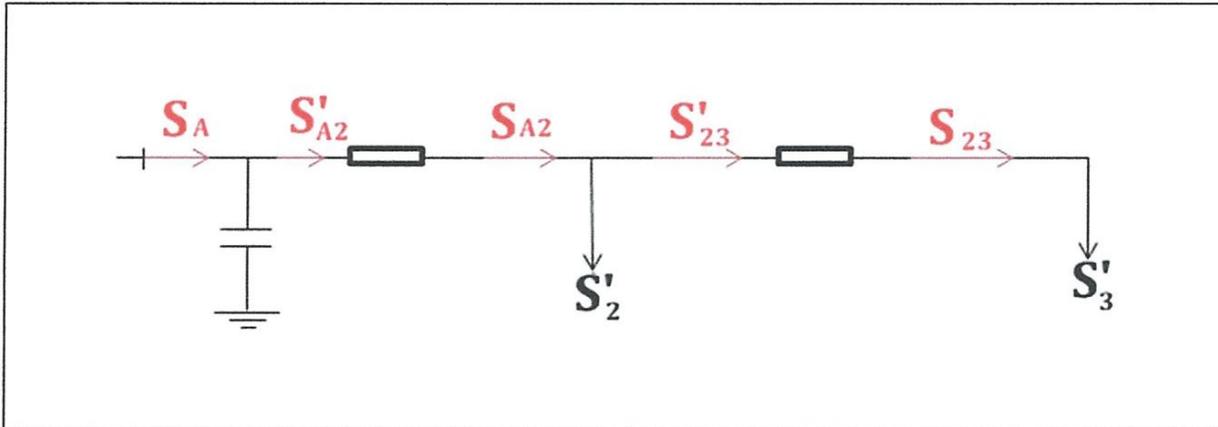


Fig. (III.7)

$$S_{23} = S_Y = 7.9471 + j 12.1655 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{23} = S_{23} + \Delta S_{23}$$

$$\Delta S_{23} = \left[ \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_3^2} r_0 + j \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_3^2} x_0 \right] \cdot L_{23}$$

$$\Delta S_{23} = 0.0453 + j 0.15 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{23} = 7.9924 + j 12.3155 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = S'_2 + S'_{23} + S_X$$

$$S_{A2} = 54.6712 + j 53.2207 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = S_{A2} + \Delta S_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = \left[ \frac{P_{A2}^2 + Q_{A2}^2}{U_2^2} r_0 + j \frac{P_{A2}^2 + Q_{A2}^2}{U_2^2} x_0 \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = 0.5 + j 1.6410 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = 55.1712 + j 54.8617 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = S'_{A2} - j Q_{CA2}$$

$$Q_{CA2} = U_n^2 \cdot \frac{b_0}{2} \cdot L_{A2}$$

$$Q_{CA2} = 2.0599 \text{ (MVAR)}$$

$$S^{(0)}_A = 55.1712 + j 52.8012 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = S^{(0)}_A + j Q_{CA2}$$

$$S'^{A2} = 55.1712 + j 54.8617 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = S'_{A2} - \Delta S_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = \left[ \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_A} r_0 + j \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_A} x_0 \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = 0.5012 + j 1.6579 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A2} = 54.67 + j 53.2038 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(0)}_2 = U^{(0)}_A + \Delta U_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = \left[ \frac{P_{A2} r_0 + Q_{A2} x_0}{U_A} + j \frac{P_{A2} x_0 - Q_{A2} r_0}{U_A} \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = 4.3614 + j 2.4133 \text{ (KV)}$$

$$U^{(0)}_2 = 215.0154 \text{ (KV)}$$

$$S'_{23} = S_{A2} - (S_X + S'_2)$$

$$S'_{23} = 7.9912 + j 12.1486 \text{ (MVA)}$$

$$S_{23} = S'_{23} + \Delta S_{23}$$

$$\Delta S_{23} = \left[ \frac{P^2_{23} + Q^2_{23}}{U^2_2} r_0 + j \frac{P^2_{23} + Q^2_{23}}{U^2_2} x_0 \right] \cdot L_{23}$$

$$\Delta S_{23} = 0.0475 + j 0.1573 \text{ (MVA)}$$

$$S_{23} = 7.9437 + j 11.9913 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_3 = U^{(1)}_2 + \Delta U_{23}$$

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$\Delta U_{23} = \left[ \frac{P_{23}r_0 + Q_{23}x_0}{U_2} + j \frac{P_{23}x_0 - Q_{23}r_0}{U_2} \right] \cdot L_{23}$$

$$\Delta U_{23} = 2.3026 + j 0.6908 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_3 = 212.6114 \text{ (KV)}$$

$$S'_{23} = S_{23} + \Delta S_{23}$$

$$\Delta S_{23} = \left[ \frac{P^2_{23} + Q^2_{23}}{U^2_3} r_0 + j \frac{P^2_{23} + Q^2_{23}}{U^2_3} x_0 \right] \cdot L_{23}$$

$$\Delta S_{23} = 0.0476 + j 0.1574 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{23} = 7.9913 + j 12.1487 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_2 = U^{(1)}_3 + \Delta U_{23}$$

$$\Delta U_{23} = \left[ \frac{P'^2_{23}r_0 + Q'^2_{23}x_0}{U^2_3} + j \frac{P'^2_{23}x_0 - Q'^2_{23}r_0}{U^2_3} \right] \cdot L_{23}$$

$$\Delta U_{23} = 2.3565 + j 0.6987 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_2 = 215.0693 \text{ (KV)}$$

$$S_{A2} = S_X + S'_{23} + S'_2$$

$$S_{A2} = 54.6701 + j 53.2039$$

$$S'_{A2} = S_{A2} + \Delta S_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = \left[ \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_2} r_0 + j \frac{P^2_{A2} + Q^2_{A2}}{U^2_2} x_0 \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta S_{A2} = 0.5233 + j 1.7311 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A2} = 55.1934 + j 54.935 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_A = U^{(1)}_2 + \Delta U_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = \left[ \frac{P'^2_{A2}r_0 + Q'^2_{A2}x_0}{U^2_2} + j \frac{P'^2_{A2}x_0 - Q'^2_{A2}r_0}{U^2_2} \right] \cdot L_{A2}$$

$$\Delta U_{A2} = 4.5822 + j 2.4686 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_A = 220.2741 \text{ (KV)}$$

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$S_A = S'_{A2} - j Q_{CA2}$$

$$Q_{CA2} = U_A^2 \cdot \frac{b_0}{2} \cdot L_{A2}$$

$$Q_{CA2} = 2.0650 \text{ (MVAR)}$$

$$S_A = 55.1934 + j 52.8699 \text{ (MVA)}$$

Deuxième partie :

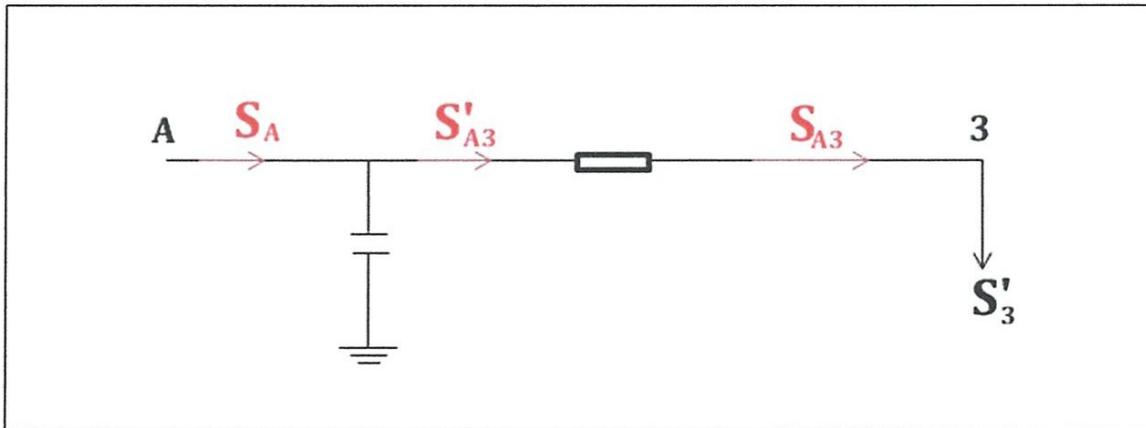


Fig. (III.8)

$$S_{A3} = 42.5681 + j 47.7914 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A3} = S_{A3} + \Delta S_{A3}$$

$$\Delta S_{A3} = \left[ \frac{P^2_{A3} + Q^2_{A3}}{U^2_3} r_0 + j \frac{P^2_{A3} + Q^2_{A3}}{U^2_3} x_0 \right] \cdot L_{A3}$$

$$\Delta S_{A3} = 0.6161 + j 2.0378 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A3} = 43.1842 + j 49.8292 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = S'_{A3} - j Q_{CA3}$$

$$Q_{CA3} = U_3^2 \cdot \frac{b_0}{2} \cdot L_{A3}$$

$$Q_{CA3} = 3.6048 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = 43.1842 + j 46.2243 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A3} = S_A + j Q_{CA3}$$

$$S'_{A3} = 43.1842 + j 49.8292 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A3} = S'_{A3} - \Delta S_{A3}$$

$$\Delta S_{A3} = \left[ \frac{P'^2_{A3} + Q'^2_{A3}}{U^2_A} r_0 + j \frac{P'^2_{A3} + Q'^2_{A3}}{U^2_A} x_0 \right] L\bar{L}_3$$

$$\Delta S_{A3} = 0.6018 + j 1.9908 \text{ (MVA)}$$

$$S_{A3} = 42.5824 + j 47.8384 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_3 = U_A + \Delta U_{A3}$$

$$\Delta U_{A3} = \left[ \frac{P_{A3}r_0 + Q_{A3}x_0}{U_A} + j \frac{P_{A3}x_0 - Q_{A3}r_0}{U_A} \right] .L\bar{L}_3$$

$$\Delta U_{A3} = 6.6452 + j 3.0778 \text{ (KV)}$$

$$U^{(1)}_3 = 212.6767 \text{ (KV)}$$

$$S'_{A3} = S_{A3} + \Delta S_{A3}$$

$$\Delta S_{A3} = \left[ \frac{P^2_{A3} + Q^2_{A3}}{U^2_3} r_0 + j \frac{P^2_{A3} + Q^2_{A3}}{U^2_3} x_0 \right] .L\bar{L}_3$$

$$\Delta S_{A3} = 0.6601 + j 2.1836 \text{ (MVA)}$$

$$S'_{A3} = 43.2425 + j 50.022 \text{ (MVA)}$$

$$S_A = S'_{A3} - j Q_{CA3}$$

$$Q_{CA3} = U^2_3 \cdot \frac{b_0}{2} \cdot L_{A3}$$

$$Q_{CA3} = 3.3688 \text{ (MVAR)}$$

$$S_A = 43.2425 + j 46.6532 \text{ (MVA)}$$

$$U^{(1)}_A = U^{(1)}_3 + \Delta U_{A3}$$

### Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$\Delta U_{A3} = \left[ \frac{P'_{A3}r_0 + Q'_{A3}x_0}{U_3} + j \frac{P'_{A3}x_0 - Q'_{A3}r_0}{U_3} \right] \cdot LA_3$$

$$\Delta U_{A3} = 6.7624 + j 3.2991 \text{ (KV)}$$

$$U^{(1)}_A = 220.1201 \text{ (KV)}$$

#### III.7. Compensation de la ligne $L_{A3}$ :

Il s'agit de vérifier la ligne donnée au régime de surcharge et à celui de marche à vide et prévoir la compensation nécessaire pour maintenir la tension de nœud 3 à un niveau admissible autour du nominale, contrainte que  $U_A = 242\text{KV}$

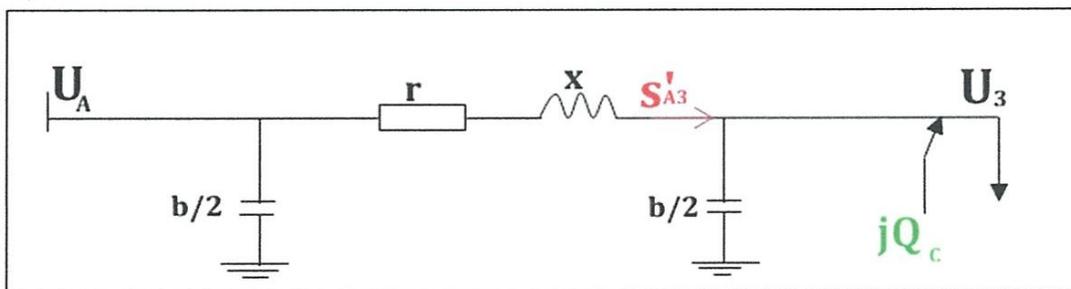


Fig. (III.9)

On va calculer la puissance réactive ( $Q_c$ ) pour les deux cas :

$$S_{ch} = S_3 = 0$$

Et  $S_{ch} = 2 \cdot S_3$  en fonction de tension  $U_3$

On a :

$$U_3 = U_A - \Delta U_{A3}$$

$$U_3^2 = \left[ U_A - \frac{P'_{13}r + (Q_3 - Q_{c3} - Q_c)x}{U_3} \right]^2 + \left[ P'_{13}x + \frac{(Q_3 - Q_{c3} - Q_c)r}{U_3} \right]^2$$

$$U_3^4 = [(U_A U_3 - P'_{13}r) + (Q_3 - Q_{c3} - Q_c)x]^2 + [P'_{13}x + (Q_3 - Q_{c3} - Q_c)r]^2$$

Après simplification on trouve :

## Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$Q_c^2 + BQ + C = 0$$

$$\text{Tel que } B = \left[ \frac{P'_{13} r x + 2U_A U_3 x + 2(r^2 + x^2)}{2(r^2 + x^2)} \right]$$

$$C = \left[ \frac{(r^2 + x^2)(Q^2_{c3} + Q^2_3 + 2Q_3 + 2P'_{13})}{2(r^2 + x^2)} + \frac{2U_A U_3 x (Q_3 + Q_{c3}) - 2U_A U_3 P'_{13} r}{2(r^2 + x^2)} \right]$$

On a :

$$\Delta = B^2 - 4C$$

$$Q_{c1} = \frac{-B - \sqrt{\Delta}}{2} \quad Q_{c2} = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2}$$

$$Q_{c3} = U_3^2 x \frac{b}{2}$$

$$Q_{c3} = 4,3618 \text{ (MVAR)}$$

$$S_{13} = 43,2425 + j50,022 \text{ (MVA)}$$

$$r = r_0 L_{A3}$$

$$r = 7,28 \text{ } \Omega$$

$$x = x_0 L_{A3}$$

$$x = 24,08 \Omega$$

❖ Si :

$$S_{ch} = S_3 = 0,$$

- Pour  $U_A = 242 \text{ KV}$ ,  $U_3 = 215 \text{ KV}$

$$B = 1986,751$$

$$C = -34464,6295$$

$$\Delta = 4085038,054$$

$$\sqrt{\Delta} = 2021,1477$$

$$Q_{c1} = -2003,9493 \text{ (MVAR)}$$

## Troisième chapitre : vérification du régime et compensation

$$S_{ch} = 2.S_3$$

| $U_3$ (KV) | $Q_c$ (MVAR) |
|------------|--------------|
| 215        | -98,4333     |
| 220        | -98,2591     |
| 225        | -98,0885     |

Tableau (III.5)

➤  $Q_c$  négative donc compensation capacitif .

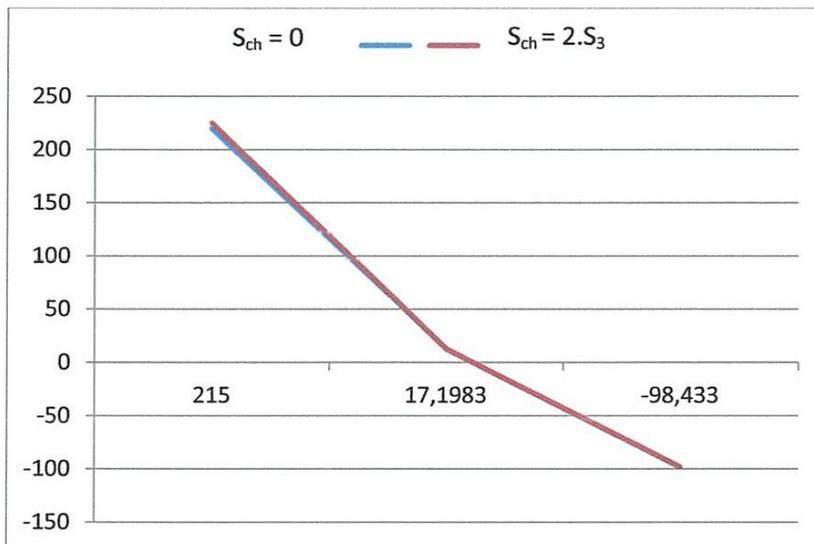


Fig. (III.10)

On constate, qu'au la marche à vide, pour maintenir la tension du nœud " 3 " dans les limites  $215 \leq U_3 \leq 225$  KV

Il est nécessaire de disposer de puissance réactive de nature inductive, telle que  $13,0971 \leq Q_c \leq 17,1983$

La représentation graphique  $U_3 = f(Q_c)$  est donnée sur la figure

De même, au régime de surcharge, d'extension du réseau ou bien de croissance de la charge, tel que  $S_{ch} = 2.S_3$

Pour maintenir la tension  $U_3$  dans le même intervalle, il est nécessaire d'avoir une puissance capacitive, telle que figure

$$-98,4384 \leq Q_c \leq -98,0885$$

## Conclusion :

A l'issue de ce travail, on peut faire les conclusions suivantes :

Une bonne élaboration de réseau électrique permet de rendre plus maitrisable de son exploitation. Pour ce faire l'étude de l'élaboration de réseau doit satisfaire à des critères technico-économiques déterminés. Pour une bonne élaboration de réseau, il faut assurer des régimes admissibles (tension, puissance....) et une continuité de services requise.

Il ya d'autres moyens pour assurer et maintenir les régimes admissibles, c'est la compensation de la puissance réactive qui joue un rôle déterminant pendant le fonctionnement et l'exploitation du réseau. Elle permet :

Maintenir la puissance admissible.

Réduire les pertes de puissances.

Améliorer le facteur de puissance.....

Le choix des caractéristiques des moyens de la compensation doit satisfaire à des critères d'adéquations tels entre la génération du réactif, l'investissement, l'impact économique.....

## **Bibliographie :**

1. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master : élaboration d'un réseau électrique et calcul des courants de court circuit 2010
2. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Electrotechnique : Compensation d'énergie réactive et sa relation avec la pollution harmonique 2009
3. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique : Compensation d'énergie réactive dans une installation électrique 2011
4. Guide technique & catalogue : compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques.
5. Les réseaux électriques, premier partie : éléments de description et d'analyse de base  
Par :Dr. BOUNAYA KAMEL
6. Internet