

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-
ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE : **Sciences de l'Ingéniorat**
DEPARTEMENT : **Électrotechnique**

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : **Sciences et Technologies**

FILIERE : **Électrotechnique**

Spécialité : **Réseaux électrique**

Thème

**Calcul d'un réseau électrique maille à HT
Détermination d'un plan de tension**

Présenté par:

FRIHIA Nouredine

Dirigé par:

ABDERREZAK Abdallah

Jury de soutenance:

- | | | | |
|-----------------------|------------|-----|---------------------|
| - Mesbah Tarek | Président | MCA | Université d'Annaba |
| - Abderrezak Abdallah | Rapporteur | MCA | Université d'Annaba |
| - Labar Hocine | Examineur | Pr. | Université d'Annaba |

Promotion : Juin 2018

Remerciements

Je remercie en premier lieu « Allah » pour nous

Avoir donné la force, le courage et la volonté

Nécessaire pour réaliser ce travail.

Et je remercie mon encadreur

D^r. Mr Abd-errezak

Pour son soutien et ses conseils.

Je dédie ce travail A ma chère maman, la personne qui a beaucoup sacrifié pour moi sans elle Je n'aurais eu la volonté d'atteindre ce niveau .Que Dieu puisse la garder éternellement heureuse.

Merci du fond du cœur. A mon cher père qui m'a toujours aider et soutenir dans les moments difficiles que dieu le garde.

A ma chère femme Dounya qui m'a toujours soutenu sans oublier mes fils et mes Med/Abderrahmen-sajid. ritej-nourel yakin

Et à tous ceux qui ont contribué à mon encouragement à retourner à la mer de la connaissance.

et qui m'ont contribué dans ma formation .Frihia .Hamza

Liste des symboles

Symboles

b_{ij}
 G_{ij}
 R_{ij}
 X_{ij}
 S_{ij}
 P_{ij}
 Q_{ij}
 S_i
 P_i
 Q_i
 S^*
 S_0
 S_e
 U_n
 U_i, U_j
 U_i^*
 U_{ij}
 U_b
 I_i
 I_{ij}
 n
 r_0
 x_0
 b_0
 g_0
 Y_{ij}

Acronymes

Susceptance des bronches ij Ω^{-1}
Conductance des bronches ij Ω^{-1}
Résistance des bronches ij en Ω
Réactance des bronches ij en Ω
Puissance apparente transitée dans les branches i j
Puissance active transitée dans les branches i j
Puissance réactive transitée dans les branches i j
Puissance apparente de chaque charge i , ou source.
Puissance active de chaque charge i , ou source.
Puissance réactive de chaque charge i , ou source .
Puissance apparente en pu
Puissance apparente à l'origine de la ligne
Puissance apparente à l'extrémité de la ligne
Tension nominale du réseau
Tensions aux nœuds i et j
Conjugué de la tension au nœud i
La tension dans chaque branche i j .
Tension de base
Courant injecté au nœud i
Courant transitant du nœud i au nœud j
Désigne le nombre des nœuds dans le réseau
Résistance linéique. Ω/km
Réactance linéique. Ω/km
Susceptance capacitive linéique. Ω^{-1}/km
Conductance linéique.. Ω^{-1}/km
L'admittance série de la ligne de transmission i et j en Ω

Sommaire

Chapitre 1

	Introduction générale	1
1.1.	Introduction	4
1.2.	Equipements utilisés dans les réseaux électriques	4
	Matériels de puissance	4
1.2.1.	Les lignes électriques	5
1.2.2.	Les transformateurs de puissance	7
1.2.3.	Les postes électriques	8

Chapitre 2

2.1.	Introduction	11
2.2.	Analyse des régimes de fonctionnement	11
2.2.1.	régime normal	11
2.2.1.1.	Calcul des puissances transitées dans les lignes	12
2.2.1.2.	Choix de la tension nominale du réseau	17
2.2.1.3.	Calcul des courants de lignes :	19
2.2.2.	Régime après avarie (coupure de la ligne la plus chargée)	20
2.2.2.1.	Calcul des puissances transitées dans les lignes	20
2.2.2.2.	Calcul des courants dans les lignes :	21
2.3.	Choix de la section admissible des conducteurs	21
2.4.	Vérification du choix de la section choisie	23
2.4.1.	Vérification d'après le courant admissible	23
2.4.2.	Vérification d'après le régime avarie (Anormal)	23
2.4.3.	Vérification d'après le régime futur	24
2.4.4.	Vérification de la section selon la chute de tension	25
2.5.	Conclusion	26

Chapitre 3

3.1.	Introduction	28
3.2.	Les paramètres du réseau en unités relatives (PU)	29
3.2.1.	Calcul des impédances et des admittances	29
3.2.2.	Ecriture en Unité Relative des grandeurs électriques	32
3.2.3.	Calcul des impédances en unité relative	33
3.2.4.	Calcul des admittances en unité relative	33
3.3.	Variante considérée dans le cas normal	34
3.3.1.	Calcul des Tension nodales	34
3.3.2.	Calcul des chutes de tension	37
3.3.3.	Calcul des courants dans les branches	38
3.3.4.	Calcul des puissances à l'origine et à l'extrémité de chaque ligne	38
3.3.5.	Calcul des pertes de puissance	40
3.3.6.	Pertes sommaires dans le réseau	40

3.3.7.	La puissance fournie par le nœud de base	40
	Conclusion	41
3.4.	Variante considérée dans le régime future	41
3.4.1.	Tensions nodales	41
3.4.2.	Calcul des chutes de tension	42
3.4.3.	Calcul des courants dans les branches	43
3.4.4.	Calcul des puissances à l' origine et à l'extrémité de chaque ligne	44
3.4.5.	Calcul des pertes de puissance	46
3.4.6.	Pertes sommaires du réseau	46
3.4.7.	La puissance fournie par le nœud de base	46
	Conclusion	47

Chapitre 4

4.1.	Régime futur avec réglage centralisé	49
4.1.1.	Pour la tension $U_1 = 1.05 U_n$	49
4.1.1.1.	Tensions nodales	49
4.1.1.2.	Calcul des chutes de tension dans les branches	49
4.1.1.3.	Calcul des Courants dans les branches	50
4.1.1.4.	Calcul des puissances à l' origine et à l'extrémité de chaque ligne	51
4.1.1.5.	Calcul des pertes de puissances	52
4.1.1.6.	Calcul des pertes sommaires	52
4.1.1.7.	Calcul de la puissance fournie par le nœud de base	52
4.1.2.	Pour la tension $U_1 = 1.07 U_n$	53
4.1.2.1.	Tensions nodales	53
4.1.2.2.	Calcul des chutes de tension dans les branches	53
4.1.2.3.	Calcul des Courants dans les branches	54
4.1.2.4.	Calcul des puissances à l' origine et à l'extrémité de chaque ligne :	55
4.1.2.5.	Calcul des pertes de puissances	56
4.1.2.6.	Calcul des pertes sommaires	56
4.1.2.7.	Calcul de la puissance fournie par le nœud de base	56
4.2.	Régime future avec Compensation	57
4.2.1.	Tensions nodales	57
4.2.2.	Calcul des chutes de tension dans les branches :	58
4.2.3.	Calcul des Courants dans les branches :	58
4.2.4.	Calcul des puissances à l' origine et à l'extrémité de chaque ligne	59
4.2.5.	Calcul des pertes de puissances	60
4.2.6.	Calcul des pertes sommaires	61
4.2.7.	Calcul la puissance fournie par le nœud de base	61
4.3.	Comparaison des résultats obtenus pour les différents régimes:	62
4.3.1.	Comparaison entre les tensions	62
4.3.2.	Comparaison entre les courants	63
4.3.3.	Comparaison entre les chutes de tensions	64
4.4.	Conclusion	64

Conclusion générale 66

Liste des tables

Tableau 1	Montre les tensions dans chaque tronçon	18
Tableau 2	Montre le récapitulatif des grandeurs calculées.	19
Tableau 3	Montre les sections normalisées	22
Tableau 4	section normalisées choisie	23
Tableau 5	Puissances et Courants après avarie31	23
Tableau 6	Puissance et courant dans les lignes en régime futur	24
Tableau 7	Les puissances des charges et les sources en (up)	33
Tableau 8	Représente les Tensions Nodales en PU avec leurs angles	36
Tableau 9	Représente les chutes des Tensions dans chaque branche	37
Tableau 10	Représente les courants dans chaque branche (PU)	38
Tableau 11	Représente les puissances dans chaque origine	39
Tableau 12	Représente les puissances dans chaque extrémité	39
Tableau 13	Représente les pertes de puissances dans chaque branche	40
Tableau 14	Représente les puissances dans chaque branches Au régime future	41
Tableau 15	Représente les Tensions Nodales en PU	42
Tableau 16	Représente les chutes des Tensions dans chaque branche	43
Tableau 17	Représente les courants dans chaque branche (PU)	44
Tableau 18	Représente les puissances dans chaque origine	45
Tableau 19	Représente les puissances dans chaque extrémité	45
Tableau 20	Représente les pertes de puissances dans chaque branche	46
Tableau 21	Montre les tensions nodales.	49
Tableau 22	Montre les chutes de tension dans les branches	50
Tableau 23	Montre les Courants dans les branches	50
Tableau 24	Montre les puissances à l' origine	51
Tableau 25	Montre les puissances à l'extrémité	52
Tableau 26	Montre les pertes de puissances	52
Tableau 27	Montre les tensions nodales	53
Tableau 28	Montre les chutes de tension dans les branches	54
Tableau 29	Montre les Courants dans les branches	54
Tableau 30	Montre les puissances à l' origine	55
Tableau 31	Montre les puissances à l'extrémité	56
Tableau 32	Montre les pertes de puissances	56
Tableau 33	Montre les tensions nodales	57
Tableau 34	Montre les chutes de tension dans les branches	58
Tableau 35	Montre les Courants dans les branches	59
Tableau 36	Montre les puissances à l' origine	60
Tableau 37	Montre les puissances à l'extrémité	60
Tableau 38	Montre les pertes de puissances.	61
Tableau 39	Montre la comparaison entre les tensions	62
Tableau 40	Montre la comparaison entre les courants	63
Tableau 41	Montre la comparaison entre les chutes de tensions	64

Liste des Graphes

Graphe 1	Montre les tensions dans chaque nœud	36
Graphe 2	Montre les chutes de tensions dans chaque branche	37
Graphe 3	Montre les courants dans chaque branche	38
Graphe 4	Montre les tensions dans chaque nœud	42
Graphe 5	Montre les chutes de tensions dans chaque branche	43
Graphe 6	Montre les courants dans chaque branche	44
Graphe 1	Représente la courbe des tensions nodales	49
Graphe 2	Montre la courbe des chutes des tensions dans les branches	50
Graphe 3	Montre les courants dans chaque branche	51
Graphe 4	Montre la courbe des tensions nodales	53
Graphe 5	Montre la courbe des chutes des tensions dans les branches	54
Graphe 6	Montre la courbe des chutes des tensions dans les branches	55
Graphe 7	Montre la courbe des tensions nodales	57
Graphe 8	Montre la courbe des chutes des tensions dans les branches	58
Graphe 9	Montre les courants dans chaque branche	59
Graphe 10	Montre la comparaison entre les tensions	62
Graphe 11	Montre la comparaison entre les courants	63
Graphe 12	Montre la comparaison entre les chutes tensions	64

Liste des Figures

CHAPITRE I :

Fig. 1 : Schéma équivalent en Π d'une ligne de transmission	05
Fig. 2. Les lignes électrique	07
Fig. 3.une transformateur électrique	08
Fig. 4.un poste électrique	09

CHAPITRE II :

Fig. 1. Configuration du réseau électrique à étudier	11
Fig. 2. Configuration du réseau électrique en régime avarie	20

CHAPITRE III :

Fig. 1. Organigramme de la Méthode itérative de Gauss-Seidel.	47
---	----

Introduction générale

Introduction générale

Introduction

Le rôle essentiel d'un réseau électrique est de pourvoir les puissances actives et réactives demandées par les équipements variés qui y sont connectés. Les points de production et de consommation sont reliés entre eux par des lignes de transmission. La continuité d'un système exige des investissements humains et financiers importants afin de répondre aux exigences suivantes :

- Assurer au client la puissance dont il a besoin
- Fournir une tension stable
- Fournir une fréquence stable
- Fournir l'énergie à un prix acceptable
- Maintenir des normes de sécurité
- Veiller à la protection de l'environnement

La réalisation des quatre premiers points est assurée par le réglage des réseaux. En effet l'énergie électrique n'étant pas stockable pratiquement, la puissance des générateurs doit à chaque instant être exactement adaptée à la consommation, de sorte que, devant toute variation de la consommation, les générateurs doivent réagir afin de maintenir cet équilibre. Les conditions de cette adaptation permanente se présentent de façons différentes, il s'agit de compenser de faibles écarts ou les variations importantes de la consommation.

On adjoint un régulateur de vitesse qui consiste à ne pas laisser la fréquence s'écarte trop loin de la valeur de consigne, en adaptant le plus rapidement possible la puissance produite à la puissance demandée (Réglage primaire, Réglage secondaire, Réglage tertiaire).

Chapitre I

Notion générale sur les réseaux électriques

1.1. Introduction

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

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

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

Alors l'énergie consommée est composée d'une partie (active) , transformée en chaleur par les charges résistives , et d'une partie (réactive) transformée par les charges inductives pour créer le champs magnétique, bien évidemment l'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie (active),la partie réactive ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés. L'énergie totale soutirée au réseau de distribution sera ainsi globalement réduite.

Aujourd'hui, l'énergie électrique considérée comme une énergie propre est utilisée dans tous les pays pour faire fonctionner des secteurs vitaux comme l'industrie, les moyens de communication, le réseau routier et enfin le réseau électrique qui grâce aux lignes électriques , permet d'acheminer l'électricité depuis les lieux de production (barrage hydroélectriques, centrales thermiques ou nucléaires ,parcs éoliens,...) jusqu'au consommateur final .Le réseau couvre l'ensemble du territoire national, il est aussi relie a ceux des pays voisins.

1.2. Equipements utilisés dans les réseaux électriques

Le réseau électrique est constitué non seulement de matériel haute tension (dit matériel de puissance), mais également de nombreuses fonctions utiles telles que la télé conduite, le système de protection...

- **Matériels de puissance**

Les lignes électriques relient les postes entre eux. À l'intérieur d'un poste, on trouve pour chaque niveau de tension un jeu de barre qui relie les départs lignes et les départs transformateurs.

1.2.1. Les lignes électriques

Les lignes électriques assurent la fonction « transport de l'énergie » sur les longues distances. Elles sont constituées de 3 phases, et chaque phase peut être constituée d'un faisceau de plusieurs conducteurs (de 1 à 4) espacés de quelques centimètres afin de limiter l'effet couronne qui entraîne des pertes en ligne et de différentes pertes Joule.

Schéma équivalent de la ligne :

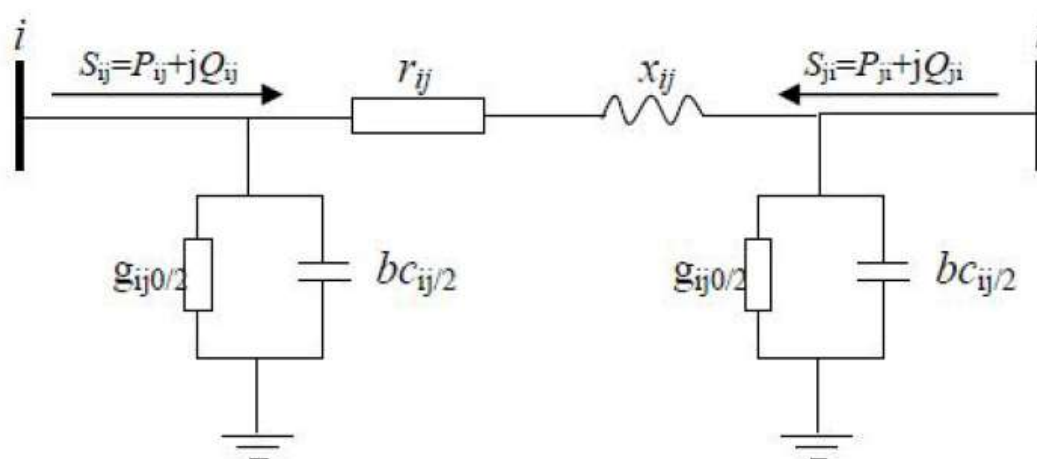


Fig. N°- 1 : Schéma équivalent en π d'une ligne de transmission [1]

- Calculs des paramètres longitudinaux et transversaux des lignes :

Une ligne de transport est généralement modélisée par un modèle en π à paramètres distribués. Les paramètres, dont les valeurs dépendent de la nature et la géométrie des conducteurs, sont définis pour une ligne connectée entre les jeux de barres i et j (voir fig.1), comme suit:

- des paramètres linéaires (longitudinaux) séries par phase, de résistance r_0 et de réactance x_0 spécifiques

Et

- des paramètres shunts (transversaux) par phase, la susceptance capacitive b_0 et la conductance g_0 spécifiques.

La conductance linéique est généralement prise en compte à partir de la 220 kv. L'admittance série de la ligne de transmission i et j est donné par la relation:

$$y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}}$$

- L'admittance shunt de la ligne ij est donnée directement en fonction de la susceptance et la conductance de la ligne, donc on a:

$$y_{ij0} = \frac{g_{ij0}}{2} + \frac{jbc_{ij}}{2} = \frac{jbc_{ij}}{2} = jB_{cij}$$

Z_{ij} : l'impédance série par phase :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$$

R et X sont respectivement, la résistance et la réactance série de la ligne entre les jeux de barres i et J .

Y_{ij} : L'admittance shunt par phase :

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$$

b et G sont respectivement, la susceptance et la conductance shunt de la ligne entre la phase et la terre.

-La résistance :

Paramètre défini par la nature du matériau (ρ) et les dimensions du conducteur. [2]

r_o : résistance linéique [Ω/Km]

$$r_o = \rho / F$$

ρ : Résistivité [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$]

F : Section [mm^2]

-La réactance :

Elle est due aux effets du champ magnétique qui s'établit autour et à l'intérieur du conducteur.

$$X_0 = 0,1441 \cdot (\text{Log } D/R) + 0,016$$

D : distance entre phase

R : rayon du conducteur

-La susceptance :

Elle est déterminée par la différence de potentiel entre la ligne et la terre, les effets de cette capacité sont dus au champ électrique qui s'établit entre la phase et la terre et entre phases.

b_0 = susceptance linéique.

-La conductance :

C'est un paramètre du système qui évalue les pertes actives du conducteur dans le circuit de fuite.



Fig .2.les lignes électriques

1.2.2. Les transformateurs de puissance

On trouve sur les réseaux électriques deux types de transformateurs de puissance :

Les autotransformateurs qui n'ont pas d'isolement entre le primaire et le secondaire. Ils ont un rapport de transformation fixe quand ils sont en service, mais qui peut être changé si l'autotransformateur est mis hors service.

Les transformateurs de grandes puissances qui peuvent aussi avoir des régleurs en charge capables de varier leur rapport de transformation quand ils sont en service. Ils sont utilisés pour maintenir

une tension constante au secondaire (la tension la plus basse) et jouent un rôle important dans le maintien de la tension.

Les transformateurs étant des matériels particulièrement coûteux, leur protection est assurée par différents mécanismes redondants.



Fig.3. Un Transformateur électrique

1.2.3. Les postes électriques

Les postes électriques sont les nœuds du réseau électrique. Ce sont les points de connexion des lignes électriques.

- Les postes des réseaux électriques peuvent avoir de différentes finalités :

1- L'interconnexion entre les lignes de même niveau de tension : cela permet de répartir l'énergie sur les différentes lignes issues du poste.

2- La transformation de l'énergie : les transformateurs permettent de passer d'un niveau de tension à un autre.

De plus, les postes électriques assurent des fonctions stratégiques :

Assurer la protection du réseau : un système complexe de protection permet qu'un défaut sur un seul ouvrage n'entraîne pas la mise hors tension de nombreux ouvrages, ce qui risquerait de mettre une

vaste zone hors tension. Cette protection est assurée par des capteurs qui fournissent une image de la tension et du courant à des relais de protection, lesquels élaborent des ordres de déclenchement à destination des disjoncteurs ;

Permettre l'exploitation normale du réseau : présence de plusieurs jeux de barre et de couplage afin de pouvoir prendre différents schéma électriques ;

Assurer la surveillance du réseau : la tension du réseau et l'intensité dans les lignes sont surveillées dans les postes électriques, via des transformateurs de Mesure, de tension et de courant.



Fig .4. un poste électrique

Chapitre II

Etude d'un réseau de transport maille(Calcul préalable)

2.1. Introduction

Cette étude est basée sur le choix d'une variante consistant en un réseau boucle constitué

de 5 nœuds, 6 branches, d'une source de base et d'un nœud balancier dont le schéma unifilaire est représenté sur la figure suivante :

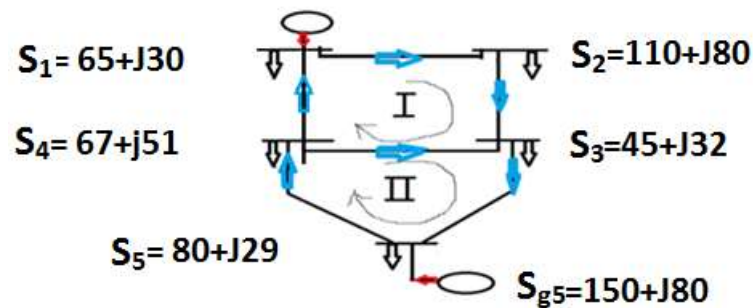


Fig.1. Configuration du réseau électrique à étudier

2.2. Analyse des régimes de fonctionnement

Dans notre étude on analyse deux régimes de fonctionnement qui sont suivants :

- Régime normal
- Régime après avarie (coupure de la ligne la plus chargée)

2.2.1. régime normal

- Les puissances des charges et de la source n°5

Charge 1 : $S_1 = 65 + j 30$

Charge 2 : $S_2 = 110 + j 80$

Charge 3 : $S_3 = 45 + j 32$

Charge 4 : $S_4 = 67 + j 51$

Charge 5 : $S_5 = 80 + j 29$

Source $S_{g5} = 100 + j 80$

- Les longueurs des lignes :

$$L_{12} = 90 \text{ Km}$$

$$L_{14} = 85 \text{ Km}$$

$$L_{23} = 101 \text{ Km}$$

$$L_{34} = 75 \text{ Km}$$

$$L_{35} = 85 \text{ Km}$$

$$L_{45} = 80 \text{ Km}$$

2.2.1.1. Calcul des puissances transitées dans les lignes

On appliquant les Loi de Kirchhoff à la variante considérée, nous obtenons les relations de base suivante :

$$\sum_{ij} Z_{ij} \cdot L_{ij} = 0$$

$$(P_{ij} + jQ_{ij}) \cdot k \cdot L_{ij} = 0$$

$$\text{Alors} \quad \sum_i^n S_{ij} \cdot L_{ij} = 0 \quad 1.1$$

d' ou

$$\sum_i^n P_{ij} \cdot L_{ij} \quad \text{et} \quad \sum_i^n Q_{ij} \cdot L_{ij} = 0 \quad 1.2$$

Avec

P = puissance active transitée dans les tronçons ij .

Q = puissance réactive transitée dans les tronçons ij .

S = puissance apparente transitée dans les tronçons ij .

Les deux mailles indépendantes I et II du réseau sont illustrées sur la figure 1

Les puissances transitant par les lignes sont respectivement :

$S_{12}, S_{14}, S_{23}, S_{34}, S_{35}, S_{45}$,et seront détermines en application des équations

(1.1) et (1.2) dont les résultats sont comme suit :

Nous avons un système à six inconnues pour lequel on a établi les équations suivantes

- **Etablissement des équations :**

Dans la première maille (en donnant un sens arbitraire aux courants) nous avons :

$$P_{12}L_{12} + P_{14}L_{14} + P_{23}L_{23} - P_{34}L_{34} + 0 + 0 = 0 \quad (1)$$

$$Q_{12}L_{12} + Q_{14}L_{14} + Q_{23}L_{23} - Q_{34}L_{34} + 0 + 0 = 0$$

Dans la deuxième maille nous avons :

$$0 + 0 + 0 + P_{34}L_{34} + P_{35}L_{35} + P_{45}L_{45} = 0 \quad (2)$$

$$0 + 0 + 0 + Q_{34}L_{34} + Q_{35}L_{35} + Q_{45}L_{45} = 0$$

En appliquant l'équation des nœuds nous obtenons :

Nœud 2 :

$$P_{12} + 0 - P_{23} + 0 + 0 + 0 = P_2 \quad (3)$$

$$Q_{12} + 0 - Q_{23} + 0 + 0 + 0 = Q_2$$

Nœud 3 :

$$0 + 0 + P_{23} + P_{34} - P_{35} + 0 = P_3 \quad (4)$$

$$0 + 0 + Q_{23} + Q_{34} - Q_{35} + 0 = Q_3$$

Nœud 4 :

$$0 - P_{14} + 0 - P_{34} + 0 + P_{45} = P_4 \quad (5)$$

$$0 - Q_{14} + 0 - Q_{34} + 0 + Q_{45} = Q_4$$

Nœud 5 :

$$0 + 0 + 0 + 0 + P_{35} - P_{45} = P_5 - P_{g5} \quad (6)$$

$$0 + 0 + 0 + 0 + Q_{35} - Q_{45} = Q_5 - Q_{g5}$$

- **Mise en équation des relations 1.1 et 1.2**

Pour les puissances actives nous avons le système d'équations suivant :

$$\begin{aligned}
90P_{12} + 85P_{14} + 101P_{23} - 75P_{34} + 0 + 0 &= 0 \\
0 + 0 + 0 + 75P_{34} + 85P_{35} + 80P_{45} &= 0 \\
P_{12} + 0 - P_{23} + 0 + 0 + 0 &= P_2 \\
0 + 0 + P_{23} + P_{34} - P_{35} + 0 &= P_3 \\
0 - P_{14} + 0 - P_{34} + 0 + P_{45} &= P_4 \\
0 + 0 + 0 + 0 + P_{34} - P_{45} &= P_5 - P_{g5} .
\end{aligned}$$

Pour les puissances réactives nous avons le système d'équations suivant :

$$\begin{aligned}
90Q_{12} + 85Q_{14} + 101Q_{23} - 75Q_{34} + 0 + 0 &= 0 \\
0 + 0 + 0 + 75Q_{34} + 85Q_{35} + 80Q_{45} &= 0 \\
Q_{12} + 0 - Q_{23} + 0 + 0 + 0 &= Q_2 \\
0 + 0 + Q_{23} + Q_{34} - Q_{35} + 0 &= Q_3 \\
0 + Q_{14} + 0 - Q_{34} + 0 + Q_{45} &= Q_4 \\
0 + 0 + 0 + 0 + Q_{34} - Q_{45} &= Q_5 - Q_{g5}
\end{aligned}$$

Ainsi, nous avons deux systèmes à six (6) équations et six inconnus que nous allons résoudre par la méthode matricielle.

- **Mise en équation sous forme Matricielle :**

$$[B] = [A] * [X] \quad (1)$$

Considérons :

A : les coefficients des puissances ;

X : les puissances à calculer ;

B : les constantes.

Nous avons :

- Calcul des puissances Actives :

$$A = \begin{vmatrix} 90 & 85 & 101 & -75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 75 & 85 & 80 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$B = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 110 \\ 45 \\ 67 \\ -70 \end{vmatrix} \quad X = \begin{vmatrix} P_{12} \\ P_{14} \\ P_{23} \\ P_{34} \\ P_{35} \\ P_{45} \end{vmatrix}$$

$$[A]^{-1} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0.73 & 0.42 & 0.26 & 0.34 \\ 0 & 0 & 0.27 & 0.58 & 0.74 & 0.66 \\ 0 & 0 & -0.27 & 0.42 & 0.26 & 0.34 \\ 0 & 0 & 0.19 & 0.40 & -0.18 & 0.10 \\ 0 & 0 & 0.09 & -0.18 & 0.08 & 0.44 \\ 0 & 0 & 0.09 & -0.18 & 0.08 & -0.56 \end{vmatrix}$$

D'après l'équation (1) alors $[X] = [B] * [A]^{-1}$

D'où

$$P_{12} = 92.42 \text{ MW}$$

$$P_{14} = 59.58 \text{ MW}$$

$$P_{23} = -17.58 \text{ MW}$$

$$P_{34} = 19.69 \text{ MW}$$

$$P_{35} = -42.89 \text{ MW}$$

$$P_{45} = 27.11 \text{ MW}$$

- Calcule des puissances réactives

$$A = \begin{vmatrix} 90 & 85 & 101 & -75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 75 & 85 & 80 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$[A]^{-1} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0.73 & 0.42 & 0.26 & 0.34 \\ 0 & 0 & 0.27 & 0.58 & 0.74 & 0.66 \\ 0 & 0 & -0.27 & 0.42 & 0.26 & 0.34 \\ 0 & 0 & 0.19 & 0.40 & -0.18 & 0.10 \\ 0 & 0 & 0.09 & -0.18 & 0.08 & 0.44 \\ 0 & 0 & 0.09 & -0.18 & 0.08 & -0.56 \end{vmatrix}$$

$$X = \begin{vmatrix} Q_{12} \\ Q_{14} \\ Q_{23} \\ Q_{34} \\ Q_{35} \\ Q_{45} \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 80 \\ 32 \\ 51 \\ -11 \end{vmatrix}$$

D'après l'équation (1)

$$\text{alors } [X] = [B] * [A]^{-1}$$

D'où

$$Q_{12} = 61.09 \text{ MW}$$

$$Q_{14} = 31.91 \text{ MW}$$

$$Q_{23} = -18.91 \text{ MW}$$

$$Q_{34} = 11.67 \text{ MW}$$

$$Q_{35} = -39.24 \text{ MW}$$

$$Q_{45} = 30.76 \text{ MW}$$

Les puissances transitées dans les différentes lignes sont :

$$S_{12} = 71.28 + j 61.09 \text{ MVA}$$

$$S_{14} = 68.72 + j 31.91 \text{ MVA}$$

$$S_{23} = 26.28 - j 18.91 \text{ MVA}$$

$$S_{34} = 8.59 + j 11.67 \text{ MVA}$$

$$S_{35} = -20.13 - j 39.24 \text{ MVA}$$

$$S_{45} = 9.87 + j 30.76 \text{ MVA}$$

2.2.1.2. Choix de la tension nominale du réseau

Pour pouvoir choisir la tension nominale de notre réseau, il faut connaître la valeur de la tension dans chaque tronçon. pour cela nous avons deux formules empiriques(1) et (2) données dans la littérature technique et qui nous aident à faire les calculs.

P = la puissance transitée dans la ligne en KW

et L = la longueur de la ligne en Km.

Pour $L < 250 \text{ km}$ et $P < 60 \text{ MW}$

$$U = 4.34\sqrt{L + 0.016P}KV \quad (1)$$

Pour $L < 1000 \text{ km}$ et $P > 60 \text{ MW}$

$$U = \sqrt{p(0.1 + 0.015\sqrt{L})}KV \quad (2)$$

Alors pour les Tronçons ij :

Tableau N°1- Montre les tensions dans chaque tronçon

Tronçon i j	S_{ij} [MVA]	L_{ij} [Km]	U_{ij} [k v]
1-2	71.28 + j 61.09	90	152.23
1-4	68.72 + j 31.91	85	149.37
2-3	26.28 - j 18.91	101	99.11
3-4	8.59 + j 11.67	75	63.25
3-5	-20.13 - j 39.24	85	87.56
4-5	9.87 + j 30.76	80	66.94

Nous remarquons que la plus grande tension transitant par les lignes est :

$$U_{12} = 152.23 \text{ kv}$$

Donc ;

la tension nominale U_n : sera choisi avec une valeur standard comprise entre : $0.6 U_n < U_n < 1.5 U_n$

Après calcul, nous avons les limites de tensions suivantes :

$$91.34 \text{ KV} < U_n < 228.35 \text{ KV}$$

Les tensions normalisées sont :

0,4 kV ; 5.5 kV ; 10 kV ; 15 kV ; 20 kV ; 30 kV ; 60 kV ; 90 kV ; 110 kV ;

150 kV ; 220 kV ; 400 kV,

On choisit pour notre réseau une des tensions normalisées suivantes :

110 kV ; 150 kV ; 220 KV.

Mais, si on tient compte de la réserve de puissance dans l'avenir, il est préférable de prendre la tension la plus élevée. Nous choisirons donc la tension nominale :

$$U_n = 220 \text{ kV.}$$

2.2.1.3. Calcul des courants de lignes :

Pour une ligne triphasée : $S_{ij} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad \Rightarrow \quad I_{ij} = \frac{P^2_{ij} + Q^2_{ij}}{\sqrt{3} \cdot U_{ij}}$

$$U_{ij} = 220 \text{ KV}$$

Ainsi nous avons les différents courants qui traversent les lignes :

$$I_{ij} = \frac{P^2_{ij} + Q^2_{ij}}{\sqrt{3} \cdot U_{ij}}$$

$$I_{12} = 246.3623 \quad (\text{A})$$

$$I_{14} = 198.8376 \quad (\text{A})$$

$$I_{23} = 84.9658 \quad (\text{A})$$

$$I_{34} = 38.0279 \quad (\text{A})$$

$$I_{35} = 115.7379 \quad (\text{A})$$

$$I_{45} = 84.77778 \quad (\text{A})$$

Nous remarquons que la ligne L12 est traversée par le plus grand courant, cette valeur nous permettra de calculer la section des conducteurs à utiliser pour notre réseau.

Le tableau N°2 - Montre le récapitulatif des grandeurs calculées.

	Puissances Apparente (MVA)	Tensions U (KV)	Courant I _{max} (A)
Troçon₁₂	71.28 + j 61.09	152.23	246.3623
Troçon₁₄	68.72 + j 31.91	149.37	198.8376
Troçon₂₃	26.28 - j 18.91	99.11	84.9658
Troçon₃₄	8.59 + j 11.67	63.25	38.0279
Troçon₃₅	-20.13 - j 39.24	87.56	115.7379
Troçon₄₅	9.87 + j 30.76	66.94	84.77778

2.2.2. Régime après avarie (coupure de la ligne la plus chargée)

Selon les calculs précédents (régime normal), la ligne la plus chargée est la ligne 1-2

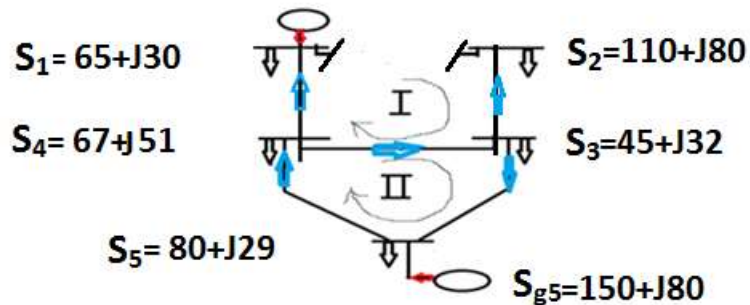


Figure N°2 - Configuration du réseau électrique en régime avarie

2.2.2.1. Calcul des puissances transitées dans les lignes

D'après la loi de Kirchhoff nous avons dans maille :

$$S_{34} \cdot L_{34} + S_{35} \cdot L_{35} + S_{45} \cdot L_{45} = 0 \quad (1)$$

et dans les différents nœuds :

$$S_{14} = S_1 \quad (2)$$

$$S_{23} = S_2 \quad (3)$$

avec ; $S_i = P_i + j Q_i$

$$S_{34} = S_3 + S_{35} + S_{23} \quad (4)$$

$$S_4 = S_{34} + S_{45} + S_{14} \quad (5)$$

$$S_{5g} + S_{35} = S_5 + S_{45} \quad (6)$$

Après la résolution du système d'équations on trouve :

$$S_{12} = 0 \quad \text{MVA}$$

$$S_{14} = 65 + j 30 \quad \text{MVA}$$

$$S_{23} = 110 + j 80 \quad \text{MVA}$$

$$S_{34} = 62.69 - j 39.24 \quad \text{MVA}$$

$$S_{35} = +6.87 + j 30.76 \quad \text{MVA}$$

$$S_{45} = 104.91 + j 58.33 \quad \text{MVA}$$

2.2.2.2. Calcul des courants dans les lignes :

On utilise l'équation suivante :

$$I_{ij} = \sqrt{(P_{ij} + Q_{ij})} / \sqrt{3} U_{ij} \quad ; \quad U_n = 220 \text{ kv}$$

$$I_{12} = 0 \quad (\text{A})$$

$$I_{14} = 187.87 \quad (\text{A})$$

$$I_{23} = 356.94 \quad (\text{A})$$

$$I_{34} = 194.09 \quad (\text{A})$$

$$I_{35} = 82.71 \quad (\text{A})$$

$$I_{45} = 315.01 \quad (\text{A})$$

2.3. Choix de la section admissible des conducteurs

Ce calcul se fait d'après la densité économique du courant suivant la formule :

$$F = \frac{I_{\max}}{J_{\text{eco}}} \quad (\text{m m})^2$$

Ou :

I_{\max} : est le courant maximal de la ligne calculé dans le régime normal.

J_{eco} : est la densité économique du matériau.

Après le calcul de la tension on choisit la section normalisée la plus proche en tenant compte aussi des contraintes mécaniques.

D'après le calcul de courant maximum dans les différents branches, on prend la valeur du courant la plus grande qui vérifie la valeur du courant admissible la plus proche.

Le courant électrique est transporté par des conducteurs, généralement sous forme triphasée (minimum trois conducteurs on peut aussi trouver un faisceau de conducteurs de deux à quatre) à la place d'un simple conducteur

Pour limiter les pertes et augmenter la puissance transmise, on utilise en général des conducteurs, en alliage d'aluminium, ou en combinaison aluminium-acier

La capacité de transport d'une ligne aérienne dépend du type de conducteur et

conditions environnementales il faut éviter que la chaînette formée par le conducteur ne se rapproche trop du sol ou de la végétation à cause de la dilatation thermique provoquée par l'effet joule.

Le conducteur choisit pour notre étude est le conducteur Almélec de densité économique $J = 1$ (A/mm^2) pour chaque ligne nous pouvons calculer la surface de la section du conducteur à utiliser.

Tableau N° 3 - Montre les sections normalisées.

Tronçon	I_{max}	$F_{eco}(mm^2)$	F_{nor}	I_{adm}
1-2	246,3623	246,3623	300	770
1-4	198,8376	198,8376	240	610
2-3	84,9658	84,9658	95	350
3-4	38,0279	38,0279	50	210
3-5	115,7379	115,7379	120	380
4-5	84,77778	84,77778	95	350

Mais pour plus de prudence et de sécurité, nous allons calculer la section de la ligne dans la quelle passe le plus grand courant .Cette section sera utilisée pour toutes les autres lignes du réseau.

Le plus grand courant de lignes est : $I_{12} = 252.36$ (A)

Alors la section correspondante est $F = 252.36 / 1 = 252.36$ (m m) ^2

Nous avons dans le tableau N° 3 , la liste des sections normalisées à partir desquelles nous ferons le choix de la section tenant compte des conditions suivantes :

- F normalisée > Fcal
- I admissible > I max de la ligne
- Régime après avarie ;
- d'après les chutes de tension admissible $\Delta U < \Delta U_{adm}$;
- Régime future

Donc ; Le conducteur choisit pour la réalisation de notre réseau de transport est de type ASTER 366 ou 366-AL4

avec section : $F = 300$ (m m) ^2 et $I_{adm} = 770$ (A).

$R_0=0.128 \quad \Omega/\text{KM}$

$X_0=0.43 \quad \Omega/\text{KM}$

$b_0=2.71 \quad \Omega^{-1}/\text{KM}$

Tableau N°4 - section normalisées choisie

$F \text{ (mm}^2\text{)}$	$I_{adm}(\text{A})$	$R_0 \text{ (}\Omega/\text{km)}$	$X_0 \text{ (}\Omega/\text{km)}$	$b_0 \text{ (}\Omega^{-1}/\text{km)}$
300	770	0,128	0,43	2,71

2.4. Vérification du choix de la section choisie

2.4.1. Vérification d'après le courant admissible

Le plus grand courant de ligne est

$$I = 252.36 \text{ (A)}$$

Le courant admissible pour la section 366-AL4 est $I_{adm} = 770 \text{ (A)}$.

Donc : $I_{adm} > I_{12} = 252.36 \text{ (A)}$

Alors la section choisie est bonne.

2.4.2. Vérification d'après le régime avarie (Anormal)

selon les résultats précédents du régime après avarie

Nous remarquons qu'après avarie, les puissances ainsi que les courants dans les lignes augmentent.

Tableau N° 5 - Puissances et Courants après avarie

	Puissances Apparente (MVA)	Courant (A)
troçon12	0	0
troçon14	65 + J 30	187.87
troçon23	110 + J 80	356.94
troçon34	62.69 + J 39.24	194.09
troçon35	6.87 - J 30.76	82.71
troçon45	104.91 + J 58.33	315.01

Donc, La plus grande valeur de courant traversant les lignes est :

$$I_{23} = 356.94 \text{ (A)} < I_{\text{adm}} = 770 \text{ A} \quad \text{donc la section est Vérifiée.}$$

Donc ; la section 300 mm² est la bonne, car elle peut résister et supporter les forts courants en cas d'avarie.

2.4.3. Vérification d'après le régime futur

Les conducteurs choisis pourront ils assurer le transport de l'énergie produite avec une augmentation des charges sur les dix (10) années à venir ?

L'objet de cette vérification est de répondre à cette question.

Supposons que les charges augmentent de 7 % chaque année, pour avoir les nouvelles charges dans dix ans, on multiplie les charges existantes par le coefficient 1.07^{10} .

Les charges deviennent :

$$\text{charge 1: } S_1 = 127.87 + j 59.01 \text{ MVA}$$

$$\text{Charge 2 : } S_2 = 216.38 + j 157.37 \text{ MVA}$$

$$\text{Charge 3 : } S_3 = 88.52 + j62.94 \text{ MVA}$$

$$\text{Charge 4 : } S_4 = 131.80 + j100.33 \text{ MVA}$$

$$\text{Charge 5 : } S_5 = 157.37 + j57.04 \text{ MVA}$$

$$\text{Source } S_{g5} = 100 + j 50 \text{ MVA}$$

Après avoir effectué les calculs nous obtenons les valeurs suivantes :

Tableau N°-6- Puissances et courants dans les lignes en régime futur

	Puissances Apparente (MVA)	Courant (A)
troçon12	140.21 + j 120.17	484.46
troçon14	135.18 + j 62.77	391.11
troçon23	51.69 + j37..19	167.11
troçon34	16.89 + j22.95	74.78
troçon35	39.65 + J 77.19	104.05
troçon45	19.41 + j60.50	166.74

La section initialement choisie est vérifiée car

$$I_{12\max} = 484.46 < I_{\text{adm}} = 770 \text{ A} .$$

2.4.4. Vérification de la section selon la chute de tension

$$\Delta U_{ij} = 10\%U_n = \frac{10 \cdot 220}{100} = 22 \text{ kv}$$

$$R = r_0 \cdot L \quad (\Omega)$$

$$X = x_0 \cdot L \quad (\Omega)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{(P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}) \cdot L_{12}}{U_n} + j \frac{(P_{12} \cdot X_{12} - Q_{12} \cdot R_{12}) \cdot L_{12}}{U_n}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{(71.28 \cdot 0.128 + 61.09 \cdot 0.43) \cdot 90}{220} + j \frac{(71.28 \cdot 0.43 - 61.09 \cdot 0.128) \cdot 90}{220} = 14.4 + j 9.27$$

$$\Delta U_{14} = \frac{(P_{14} \cdot R_{14} + Q_{14} \cdot X_{14}) \cdot L_{14}}{U_n} + j \frac{(P_{14} \cdot X_{14} - Q_{14} \cdot R_{14}) \cdot L_{14}}{U_n}$$

$$\Delta U_{14} = \frac{(68.72 \cdot 0.128 + 31.91 \cdot 0.43) \cdot 85}{220} + j \frac{(68.72 \cdot 0.43 - 31.91 \cdot 0.128) \cdot 85}{220} = 8.67 + j 9.77$$

$$U_{23} = \frac{(P_{23} \cdot R_{23} + Q_{23} \cdot X_{23}) \cdot L_{23}}{U_n} + j \frac{(P_{23} \cdot X_{23} - Q_{23} \cdot R_{23}) \cdot L_{23}}{U_n}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{(26.28 \cdot 0.128 + 18.91 \cdot 0.43) \cdot 101}{220} + j \frac{(26.28 \cdot 0.43 - 18.91 \cdot 0.128) \cdot 101}{220} = 5.252 + j 6.262$$

$$\Delta U_{34} = \frac{(P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}) \cdot L_{34}}{U_n} + j \frac{(P_{34} \cdot X_{34} - Q_{34} \cdot R_{34}) \cdot L_{34}}{U_n}$$

$$\Delta U_{34} = \frac{(8.59 \cdot 0.128 + 11.67 \cdot 0.43) \cdot 75}{220} + j \frac{(8.59 \cdot 0.43 - 11.67 \cdot 0.128) \cdot 75}{220} = 2.025 + j 0.7425$$

$$\Delta U_{35} = \frac{(P_{35} \cdot R_{35} + Q_{35} \cdot X_{35}) \cdot L_{35}}{U_n} + j \frac{(P_{35} \cdot X_{35} - Q_{35} \cdot R_{35}) \cdot L_{35}}{U_n}$$

$$\Delta U_{35} = \frac{(-20.13 \cdot 0.128 - 39.24 \cdot 0.43) \cdot 85}{220} + j \frac{(-20.13 \cdot 0.43 + 39.24 \cdot 0.128) \cdot 85}{220} = -7.48 + j 1.4025$$

$$\Delta U_{45} = \frac{(P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}) \cdot L_{45}}{U_n} + j \frac{(P_{45} \cdot X_{45} - Q_{45} \cdot R_{45}) \cdot L_{45}}{U_n}$$

$$\Delta U_{45} = \frac{(9.87 \cdot 0.128 + 30.76 \cdot 0.43) \cdot 80}{220} + j \frac{(9.87 \cdot 0.43 - 30.76 \cdot 0.128) \cdot 80}{220} = 5.264 + j 0.104$$

Resultats de calcul :

$$\Delta U_{12} = 14.4 + j 9.27 = 17.12 < 22 \text{ kv} \quad 7.78 \%$$

$\Delta U_{14} = 8.67 + j 9.27 = 12.69$	$< 22kv$	5.76 %
$\Delta U_{23} = 5.252 + j 6.262 = 8.17$	$< 22kv$	3.71 %
$\Delta U_{34} = 2.025 + j0.742 = 3.71$	$< 22kv$	1.68 %
$\Delta U_{35} = -7.48 + j1.402 = 7.60$	$< 22kv$	3.45 %
$\Delta U_{45} = 5.26 + j0.104 = 5.26$	$< 22kv$	2.39 %

Donc la section initialement choisie est vérifiée.

2.5. Conclusion

Le calcul préalable nous a permis de déterminer les puissances apparentes dans les lignes et aussi les courants qui y transitent dans le but de choisir les sections correspondantes afin de déterminer les paramètres linéiques (R , X) du réseau.

Ce calcul nous permet aussi d'effectuer le choix de la tension nominale du réseau et donc le calcul des transits de puissance pour le réseau électrique considéré.

Chapitre III

Ecoulement de puissance pour déterminer les tensions aux nœuds du réseau dans différent régime

3.1. Introduction

Tout réseau électrique comprend principalement :

- Générateurs d'énergie électrique
- Consommateurs d'énergie électrique
- Lignes aériennes et en câbles

L'étude de l'écoulement de puissance (load flow) permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent.

Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes de puissances et les courants s'en déduisent.

Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques, leur conduite et leur contrôle.

Un modèle mathématique de ce système doit être déterminé pour pouvoir résoudre le problème de l'écoulement des puissances.

On associe à chaque jeu de barre quatre quantités, dont deux sont connues [3]

La puissance active.

La puissance réactive.

Le module de la tension.

L'angle de phase.

En particulier, nous pouvons déterminer aussi les puissances à générer par les unités de production si nous connaissons la demande d'énergie par les consommateurs.

Il est nécessaire de choisir un jeu de barre de référence, pour fournir des puissances actives et réactives supplémentaires, pour compenser les pertes dans les lignes de transmission qui restent inconnues jusqu'à l'obtention de la solution finale.

La méthode de GAUSS-SEIDEL est l'une des plus simples méthodes itératives utilisées pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance ou Généralement pour la résolution d'un ensemble très large d'équations algébriques non linéaires.

Cette méthode consiste à enlever séquentiellement chaque nœud et actualiser sa tension en fonction des valeurs disponibles de toutes les tensions des autres nœuds.

Pour le cas de l'étude de l'écoulement de puissance, les solutions recherchées sont réduites de la résolution de l'équation nodale suivante :

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 \dots + Y_{in}V_n = \sum_{m=1}^n Y_{im}V_m$$

En général, on calcule le vecteur **V** qui satisfait le système non linéaire donné par :

$$V_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{(V_i^*)^k} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right]$$

Avec :

i = 5: Représente le nœud de référence

i : Nombre de nœuds

n : Numéro du nœud

3.2. Les paramètres du réseau en unités relatives (PU)

3.2.1. Calcul des impédances et des admittances

- La matrice d'impédances :

$$Z_{ij} = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} \\ Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} \end{vmatrix}$$

$$Z_{ij} = (r_0 + j x_0) * L_{ij}$$

$$R = r_0 .L \quad \text{et} \quad X = x_0 .L$$

$$Z_{12} = 11.52 + j 38.7 \quad \Omega$$

$$Z_{14} = 10.88 + j36.55 \quad \Omega$$

$$Z_{23} = 12.92 + j 43.43 \quad \Omega$$

$$Z_{34} = 9.6 + j32.25 \quad \Omega$$

$$Z_{35} = 10.88 + j 36.55 \quad \Omega$$

$$Z_{45} = 10.24 + j 34.4 \quad \Omega$$

-La matrice d'admittances :

La matrice des admittances nodale est une matrice ou on définit toutes les admittances reliant un nœud i à un nœud j.

Pour établir la matrice d'admittance, on détermine en premier temps, l'expression des courants injectés en fonction des tensions. V_i , V_j et des variables du réseau. Par application de la loi d'Ohm, sous écriture matricielle, [10]

on a : $\mathbf{I} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{V}$

Y: La matrice des admittances complexe nodales

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \dots & \bar{Y}_{1n} \\ \vdots & \cdot & & \vdots \\ \vdots & & \cdot & \vdots \\ \bar{Y}_{n1} & \cdot & \cdot & \bar{Y}_{nn} \end{bmatrix}; \mathbf{I} = \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \cdot \\ \bar{I}_n \end{bmatrix}; \mathbf{V} = \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \cdot \\ \bar{V}_n \end{bmatrix}$$

Le courant \bar{I}_i en grandeurs complexes est :

$$\bar{I}_i = \bar{Y}_{ii} \cdot \bar{V}_i + \sum_{j \neq i} \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{V}_j$$

La matrice Y est une matrice symétrique de dimension « n x n ». Elle est composée d'éléments diagonaux. \bar{Y}_{ii} et d'éléments non diagonaux \bar{Y}_{ij} et \bar{Y}_{ji} . Ces éléments sont des grandeurs complexes définies par leurs parties réelles et imaginaires. Cette matrice est un outil précieux pour évaluer les puissances électriques.

Les éléments de la matrice sont donnés par :

$$\bar{Y}_{ij} = \frac{-1}{Z_{ij}} (\Omega^{-1})$$

La matrice d'admittance du réseau réalisé:

$$Y_{ij} = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} \end{vmatrix}$$

$$Y_{ij} = \frac{-1}{Z_{ij}} (\Omega^{-1})$$

$$Y_{12} = -1/Z_{12} = -0.007 + j0.0237 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{14} = -1/Z_{14} = -0.0074 + j0.0251 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{23} = -1/Z_{23} = -0.0063 + j0.021 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{34} = -1/Z_{34} = -0.0084 + j0.0284 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{35} = -1/Z_{35} = -0.0074 + j0.0251 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{45} = -1/Z_{45} = -0.0079 + j0.0267 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{11} = -(Y_{12} + Y_{14}) = -0.0144 + j0.0488 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{22} = -(Y_{12} + Y_{23}) = -0.0133 + j0.02447 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{33} = -(Y_{14} + Y_{34} + Y_{35}) = -0.0232 + j0.0786 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{44} = -(Y_{14} + Y_{34} + Y_{45}) = -0.0237 + j0.0802 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{55} = -(Y_{35} + Y_{45}) = -0.0153 + j0.0518 \quad \Omega^{-1}$$

$$Y_{ij} = \begin{vmatrix} -0.0144 + j0.0488 & -0.0153 + j0.0518 & 0 & -0.0074 + j0.0251 & 0 \\ 0 & -0.0133 + j0.02447 & -0.0063 + j0.021 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0063 + j0.021 & -0.0232 + j0.0786 & -0.0084 + j0.0284 & -0.0074 + j0.0251 \\ -0.0074 + j0.0251 & 0 & -0.0084 + j0.0284 & -0.0237 + j0.0802 & -0.0079 + j0.0267 \\ 0 & 0 & -0.0074 + j0.0251 & -0.0079 + j0.0267 & -0.0153 + j0.0518 \end{vmatrix}$$

3.2.2. Écriture en Unité Relative des grandeurs électriques

Le système per unit permet d'exprimer toutes les grandeurs des éléments du réseau (générateurs, transformateurs, lignes, etc...) dans un système unique de référence donnant lieu à des grandeurs réduites. Il est utilisé pour faciliter les calculs, et détecter rapidement les valeurs de calcul erronées

Une grandeur réelle quelconque (tension, courant, impédance, admittance, etc...)

U réelle peut être exprimée en per unit U pu par rapport à la grandeur de base correspondante U base par la relation :

$$U_{pu} = \frac{U_{réelle}}{U_{base}} \quad [\text{Sans dimension}]$$

En prend comme valeur de base :

$$S_b = 100 \text{ MVA}$$

$$U_b = 220 \text{ KV } \sqrt{3}$$

-Le courant de base:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} \quad ; \quad I_b = 262.43 \quad (\text{A})$$

- L' impedance de base:

$$|Z_b| = |U| / \sqrt{3} \cdot I_b \quad ; \quad |Z_b| = 484 \quad (\Omega)$$

- L' admittance de base:

$$|Y_b| = 1 / |Z_b| \quad ; \quad |Y_b| = 0.002 \quad (\Omega^{-1})$$

L'expression $S = U \cdot I$ reste valable si on remplace toutes les grandeurs par leurs valeurs de base

$$S^* = \frac{S}{|S_b|} = \frac{U \cdot I}{|S_b|} = \frac{U \cdot I}{|U_b| \cdot |I_b|} = U^* \cdot I^*$$

La loi générale d'ohm s'écrit :

$$U^* = Z^* \cdot I^*$$

Donc :

La tension nominale U_n et de base U_b en unité relative est :

$$U_n^* = U_n / U_b = 220 / 220 = 1 \quad [\text{pu}] ,$$

Chapitre III Écoulement de puissance pour déterminer les tensions aux nœuds du réseau dans différent régime

$$U^*_b = U_5 / U_b = 230 / 220 = 1.045 \text{ [pu.]} \text{ (} U_5 \text{ : tension de réf.)}$$

En regroupe les valeurs dans le tableau suivant :

Tableau N°7- Les puissances des charges et les sources en (pu) :

Nœuds	puissance générée	puissances charges
1	???	S1 = 0.65 + j 0.30
2		S2 = 0.10 + j 0.80
3		S 3= 0.45 + j 0.32
4		S 4= 0.67 + j 0.51
5	1.00 + j 0.50	S 5= 0.80 + j 0.29

3.2.3. Calcul des impédances en unité relative

$$Z^* = \frac{z_{ij}}{z_b}$$

$$Z^*_{12} = 0.0238 + J 0.079$$

$$Z^*_{14} = 0.0224 + J 0.0755$$

$$Z^*_{23} = 0.0267 + J 0.0897$$

$$Z^*_{34} = 0.0198 + J 0.0666$$

$$Z^*_{35} = 0.0224 + J 0.07551$$

$$Z^*_{45} = 0.0211 + J 0.071$$

3.2.4. Calcul des admittances en unité relative

$$y^* = \frac{y_{ij}}{y_b}$$

$$Y^*_{12} = -3.5 + J 11.85$$

$$Y^*_{14} = -3.7 + J 12.55$$

$$Y^*_{23} = -3.15 + J 10.5$$

$$Y^*_{34} = -4.2 + j 14.2$$

$$Y^*_{35} = -3.7 + j 12.55$$

$$Y^*_{45} = -3.95 + j 13.35$$

$$Y^*_{11} = -7.2 - j 24.4$$

$$Y^*_{22} = -6.65 - j 12.23$$

$$Y^*_{33} = -11.6 - j 3.3$$

$$Y^*_{44} = -11.85 - j 40.1$$

$$Y^*_{55} = -7.65 + j 25.9$$

3.3. Variante considérée dans le cas normal

3.3.1. Tension nodales

Le calcul des tensions nodales représente une grande importance vue la difficulté de la détermination des paramètres qui nécessitent l'utilisation de l'outil informatique. [9]

Le modèle mathématique que l'on peut appliquer pour calculer les tensions nodales est le suivant :

$$Y \cdot U = \sqrt{3} \cdot I$$

Puisque les données de notre réseau sont sous forme de puissance, le système devient alors linéaire et sa résolution nécessite l'application d'une méthode itérative qui consiste à donner des valeurs initiales aux variables et à partir de données initiales, on s'approche de la solution finale par répétition des nombres d'itérations.

La solution finale dépend de la forme de la matrice des admittances, la matrice peut être symétrique.

$$Y \cdot U = \sqrt{3} \cdot I$$

$$\text{Avec } I = \frac{\hat{S}}{\sqrt{3} \cdot \hat{U}}$$

Le modèle change sa forme et devient :

$$Y \cdot U = \frac{S}{U}$$

L'expression matricielle peut s'écrire sous la forme suivante :

$$[Y] \cdot [U] = [I]$$

$$Y = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} \end{vmatrix}$$

$$U = \begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \end{vmatrix} \qquad I = \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{vmatrix}$$

$$Y U = S / U \quad ; \quad S_i / \hat{U}_i = P_i - j Q_i / \hat{U}_i$$

Après la multiplication on obtient l'expression complète de chaque inconnue :

$$U_i^{(k+1)} = 1/Y_{ii} \cdot [(P_i - j Q_i) / U_i^{(k)*} - \sum_{j=1}^n (Y_{ij} \cdot U_j^{(k)})] \quad , \quad i \neq j$$

$$U_5 = \frac{1}{Y_{55}} \left(\frac{P_5 + jQ_5}{U_5^*} - Y_{51} \cdot U_1 - Y_{52} \cdot U_2 - Y_{53} \cdot U_3 - Y_{54} \cdot U_4 \right)$$

$$U_4 = \frac{1}{Y_{44}} \left(\frac{P_4 + jQ_4}{U_4^*} - Y_{41} \cdot U_1 - Y_{42} \cdot U_2 - Y_{43} \cdot U_3 - Y_{45} \cdot U_5 \right)$$

$$U_3 = \frac{1}{Y_{33}} \left(\frac{P_3 + jQ_3}{U_3^*} - Y_{31} \cdot U_1 - Y_{32} \cdot U_2 - Y_{34} \cdot U_4 - Y_{35} \cdot U_5 \right)$$

$$U_2 = \frac{1}{Y_{22}} \left(\frac{P_2 + jQ_2}{U_2^*} - Y_{21} \cdot U_1 - Y_{23} \cdot U_3 - Y_{24} \cdot U_4 - Y_{25} \cdot U_5 \right)$$

$$U_1 = \frac{1}{Y_{11}} \left(\frac{P_1 + jQ_1}{U_1^*} - Y_{12} \cdot U_2 - Y_{13} \cdot U_3 - Y_{14} \cdot U_4 - Y_{15} \cdot U_5 \right)$$

Chapitre III Écoulement de puissance pour déterminer les tensions aux nœuds du réseau dans différent régime

D'après la méthode de Gauss-Seidel les expressions des tensions aux nœuds (1 , 2 , 3 , et 4) à l'itération (k+1) sont :

$$U_1^{(K+1)} = \frac{1}{Y_{11}} \cdot \left(\frac{P_1 - j Q_1}{U_1^{(K)*}} - Y_{12} \cdot U_2^{(K+1)*} - Y_{13} \cdot U_3^{(K+1)*} - Y_{14} \cdot U_4^{(K+1)*} - Y_{15} \cdot U_5 \right)$$

$$U_2^{(K+1)} = \frac{1}{Y_{22}} \cdot \left(\frac{P_2 - j Q_2}{U_2^{(K)*}} - Y_{21} \cdot U_1^{(K)*} - Y_{23} \cdot U_3^{(K+1)*} - Y_{24} \cdot U_4^{(K+1)*} - Y_{25} \cdot U_5 \right) .$$

$$U_3^{(K+1)} = \frac{1}{Y_{33}} \cdot \left(\frac{P_3 - j Q_3}{U_3^{(K)*}} - Y_{31} \cdot U_1^{(K)*} - Y_{32} \cdot U_2^{(K)*} - Y_{34} \cdot U_4^{(K+1)*} - Y_{35} \cdot U_5^* \right) .$$

$$U_4^{(K+1)} = \frac{1}{Y_{44}} \cdot \left(\frac{P_4 - j Q_4}{U_4^{(K)*}} - Y_{41} \cdot U_1^{(K)*} - Y_{42} \cdot U_2^{(K)*} - Y_{43} \cdot U_3^{(K)*} - Y_{45} \cdot U_5^* \right) .$$

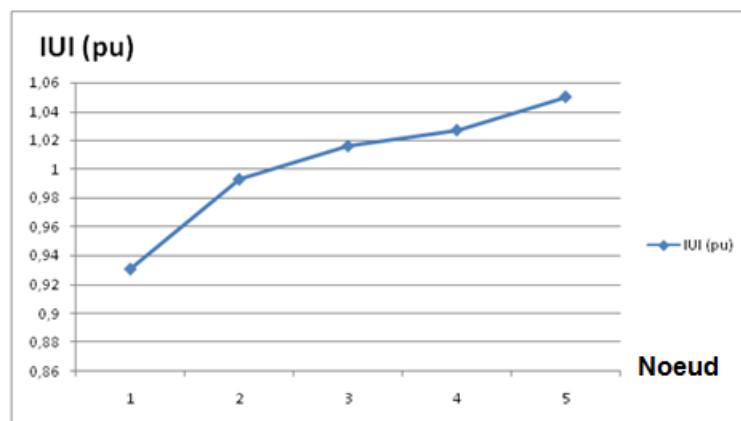
Après l'exécution du programme de Gauss- Seidel en Matlab, on trouve les résultats des tensions nodales suivantes :

Tableau N° 8 - regroupe les valeurs des Tensions Nodales en PU avec leurs angles de déphasage

Nœud	Valeurs initiales	U (pu)	IUI(pu)	U _{réel} (kv)	IU _{réel} I	angle δ(°)
1	1 ∟ 0	0,928-j0,796	0,931	204,16-j1,672	204,82	-4,68
2	1 ∟ 0	0,993-j,034	0,993	218,46-j7,48	218,46	-1,9
3	1 ∟ 0	1,016-j,006	1,016	223,52-j13,2	223,52	-1,91
4	1 ∟ 0	1,027-j,042	1,027	225,94-j9,34	225,94	-2,34
5	1,05 ∟ 0	1,05	1,05	230	230	0

Nbr d'itération :19

Erreur :8.891.e - 009



Graphique N° 1 : Courbe des tensions dans les différents nœuds.

Chapitre III Ecoulement de puissance pour déterminer les tensions aux nœuds du réseau dans différent régime

En remarque que toutes les tensions au nœud sont comprises dans l'intervalle de la tension admissible.

3.3.2. Calcul des chutes de tension

$$\Delta U = U_i - U_j$$

Avec :

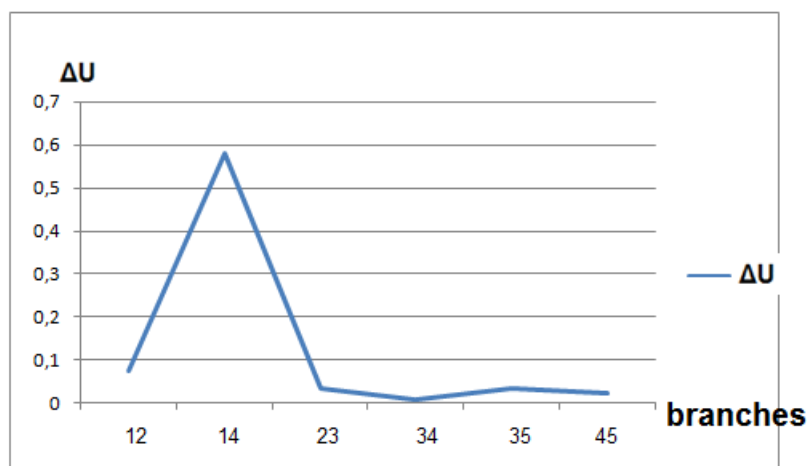
ΔU : Chute de tension dans les branches

U_i : Tension à l'origine de la ligne

U_j : Tension à l'extrémité de la ligne

Tableau N° 9 - regroupe les valeurs des chutes des Tensions dans chaque branche

BRANCHES	$\Delta U_{ij}(pu)$	$I \Delta U_{ij} I (pu)$	$\Delta U (kv)$	$I \Delta U I (kv)$
1 - 2	0,065+j0,042	0,077	14,4+j9,27	17,125
1 - 4	0,039+j 0,044	0,058	8,67+j9,77	13,06
2 - 3	0,023+j0,028	0,036	5,25+j +6,26	8,17
3 - 4	0,009+0,003	0,009	2.025+j0 ,74	2,15
3 - 5	0,034+j0,006	0,034	7,48+j 1,402	7,61
4 - 5	0,023+j0,00047	0,023	5,26+j0,104	5,26



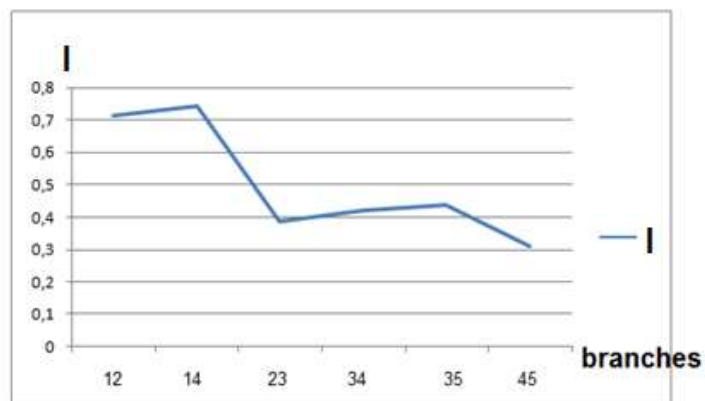
Graphes N° 2 : Courbe des chutes de tensions dans chaque branche du réseau

3.3.3. Calcul des courants dans les branches

$$I_{ij} = \Delta U_{ij} / Z_{ij}$$

Tableau N° 10 - regroupe les valeurs des courants dans chaque branche en PU

Branches	$\Delta U_{ij}(pu)$	$Z_{ij}(pu)$	$I_{ij}(pu)$	$ I_{ij}(pu) $
1 - 2	0,065+j0,042	0.0238 + J 0 .079	0,714-j0,607	0.714
1 - 4	0,039+j 0,044	0.0224+ J 0 .0755	0,676-j0,315	0.745
2 - 3	0,023+j0,028	0.0267 + J 0 .0897	0,356-j0,150	0.386
3 - 4	0,099+0,006	0.0198 + J 0.0666	0,488-j1,341	0.42
3 - 5	0,034+j0,006	0.0224 + J 0.07551	0,195-j0,392	0.437
4 - 5	0,023+j0,00047	0.0211 + J 0 .071	0,094-j,295	0.309



Graphe N° 3 : Courbe des courants dans chaque branche

3.3.4. Calcule des puissances à l'origine et à l'extrémité de chaque ligne

-Calcule des puissances à l'origine

$$S_{ij} = \sqrt{3} \cdot U^0 \cdot I_{ij}$$

Avec :

S^0_{ij} : puissance à l'origine de la ligne

Chapitre III Écoulement de puissance pour déterminer les tensions aux nœuds du réseau dans différent régime

U_{ij} : tension à l'origine de la ligne

S_{ij}^e : puissance à l'extrémité de la ligne

U_{ij} : tension à l'extrémité de la ligne

Tableau N° 11-regroupe les valeurs des puissances à l' origine de chaque ligne

Branches	I_{ij} (pu)	U^O (pu)	S^O_{ij} pu)
1 - 2	0,714-j0,607	0.928-J0.076	1.067-j 1.0694
1 - 4	0,676-j0,315	0.928-J0.076	1.045-j 0.5952
2 - 3	0,356-j0150	0.993-J0.034	0.611-j 1.0467
3 - 4	0,488-j1,341	1.016-J0.006	0.844-j 2.3649
3 - 5	0,195-j0,392	1.016-J0.006	0.339-j 0.6918
4 - 5	0,094-j,295	1.027-J0.042	0.145-j 0.5315

- Calcul des puissances à l'extrémité

$$S_{ij} = \sqrt{3} \cdot U^e \cdot I_{ij}$$

Tableau N° 12 -regroupe les valeurs des puissances a l'extrémité de chaque ligne

Branches	I_{ij} (pu)	U^e_{ij} (pu)	S^e_{ij} (pu)
1 - 2	0,714-j0,607	0.993-J0.034	1.1922 -j1.0860
1 - 4	0,676-j0,315	1.027-J0.042	1.1795 -j0.6095
2 - 3	0,356-j0,150	1.016-J0.006	1.0823 -j0.4636
3 - 4	0,488-j1,341	1.027-J0.042	0.7705-j2.4208
3 - 5	0,195-j0,392	1.05+j 00	0.3546-j0.7129
4 - 5	0,094-j0,295	1.027-J0.042	0.1457-j0.5315

3.3.5. Calcul des pertes de puissance

$$\Delta S_{ij} = S_{ij}^o - S_{ij}^e$$

Tableau N° 13-regroupe les valeurs des pertes de puissances

Branches	$\Delta S_{ij}(pu)$
1 - 2	-0.1252+j 0.0166
1 - 4	-0.1345 + j0.0143
2 - 3	-0.4713-j0.581
3 - 4	0.0735+j0.0559
3 - 5	-0.0156 +j 0.0211
4 - 5	0.8813+j 0.4895

3.3.6. Pertes sommaires dans le réseau

Les pertes sommaires de puissance sont déterminées comme suit :

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum \Delta S_{ij}$$

$$\sum \Delta S_{ij} = 0.14205 + j 0.164 \quad (pu)$$

$$I \sum \Delta S_{ij} I = 0.217 \quad (pu)$$

3.3.7. La puissance fournie par le nœud de base

L'expression $S_i = \sum_{j \neq i}^n S_{ij}$, $i \neq j$ nous permet d'obtenir la puissance fournie par le nœud de base :

$$S_5 = S_{35}^0 + S_{45}^0 = 0.5003 - j0.5315$$

$$S_b = 2.112 - j 1.6646 \quad (pu)$$

$$S_1 = 3.15 - j 1,6646 (pu)$$

Conclusion

D’après les résultats de calcul et les graphes représentés du régime actuel de notre réseau, on peut conclure que :

- Les tensions aux niveaux de tous les nœuds sont admissibles, donc la première condition est vérifiée.
- Les courants transitant par les différentes sections de lignes sont admissibles.
- Les chutes des tensions sont admissibles dans toutes les branches.

Il n’y a pas nécessité d’effectuer un réglage de la tension aux différents nœuds du réseau donc pas de pose des moyens de réglage.

3.4. Variante considérée dans le régime future

Pour cette variante on considère une augmentation de 10 % annuellement sur une période de 10 ans, nous établissons le calcul des nouveaux paramètres sur cette base.

Tableau N° 14 -représente les puissances dans chaque branche dans le régime future

Branches	S_{ij} (pu)
1 - 2	140.21 + j 120.17
1 - 4	135.18 + j 62.77
2 - 3	51.69 + j37..19
3 - 4	16.89+ j22.95
3 - 5	39.65 + J 77.19
4 - 5	19.41 + j60.50

3.4.1. Tensions nodales

$U_5 = 230 \text{ kV(Tensionde référence) en PU} = 1.05$

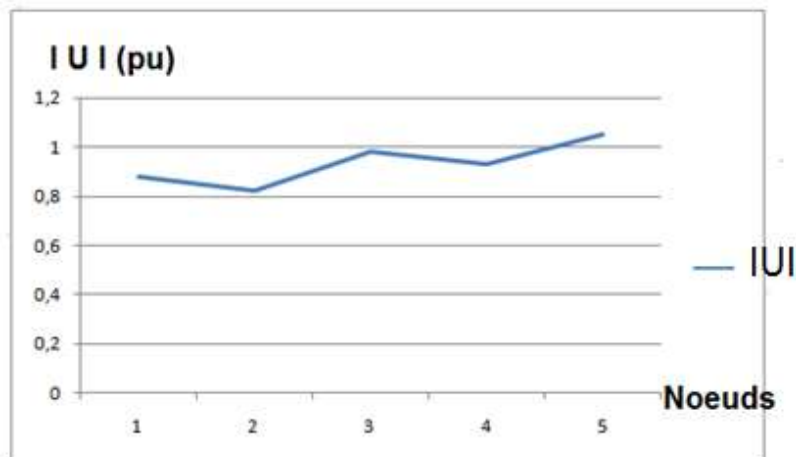
Après l’exécution du programme de Gauss- Seidel en Matlab, on trouve les résultats des tensions nodales suivantes :

Tableau N° 15 - regroupe les valeurs des Tensions Nodales en PU :

Nœud	Valeurs initiales	I U I (pu)	U (pu)	U(kV)	I U I KV	angle $\delta(^{\circ})$
1	1 ∟ 0	0.88	0.86-J0.16	199.16-j38.77	202.89	-0.192
2	1 ∟ 0	0.82	0.78-J0.23	181.43-j54.06	189.31	-0.29
3	1 ∟ 0	0.98	0.98.-J0.016	226.83-j3.82	226.86	-0.016
4	1 ∟ 0	0.93	0.92-J 0.09	213.54-j21.95	214.66	-0.102
5	1.05 ∟ 0	1.05	1.05	230	230	0

Nbr d'itération 52

Erreur 8.1003°-009



Graphe N°4 : Courbe des tensions dans chaque nœud du réseau.

En remarque que la tension aux nœuds 1 et 2 est inférieur à leur intervalle admissible ($0.9 U_n < U_n < 1.1 U_n$).

3.4.2. Calcul des chutes de tension

$\Delta U = U_i - U_j$

Avec :

ΔU : Chute de tension dans les branches

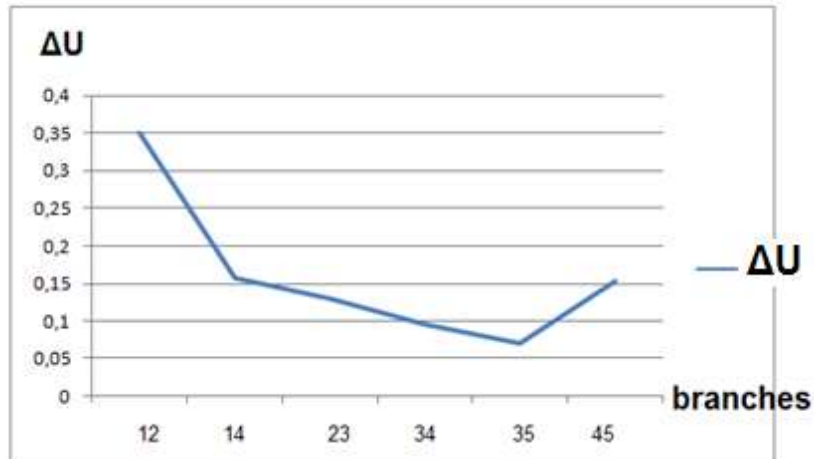
Chapitre III Écoulement de puissance pour déterminer les tensions aux nœuds du réseau dans différent régime

U_i : Tension à l'origine de la ligne

U_j : Tension à l'extrémité de la ligne

Tableau N°16 - regroupe les valeurs des chutes des Tensions dans chaque branche

BRANCHES	ΔU_{ij} (pu)	ΔU (pu)	Angle
1 - 2	0.27+j0.23	0.35	0.7
1 - 4	0.137+j0.098	0.158	0.6
2 - 3	0.02+j0.12	0.129	0.81
3 - 4	0.06+j0.074	0.095	0.89
3 - 5	0.07+j0.016	0.07	0.22
4 - 5	0.12+j0.09	0.152	0.4



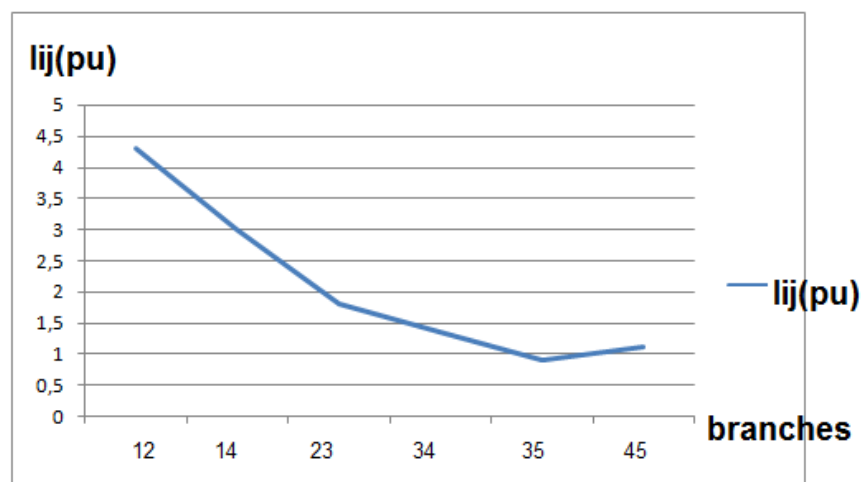
Graphe N° 5 : Courbe des chutes de tensions dans chaque branche

3.4.3. Calcul des courants dans les branches

$$I_{ij} = \Delta U_{ij} / Z_{ij}$$

Tableau N° 17 regroupe les valeurs des courants dans chaque branche (PU)

Branches	ΔU_{ij} (pu)	Z_{ij} (pu)	I_{ij} (pu)	$ I_{ij} $ (pu)	Angle
1 - 2	0.27+j0.23	0.0238 + J 0 .079	3.61-j2.329	4.29	-0.57
1 - 4	0.13+j0.09	0.0224+ J 0 .0755	1.56-j1.25	2.99	-0.67
2 - 3	+0.2+j0.21	0.0267 + J 0 .0897	2.76-j1.4	1.79	-0.47
3 - 4	0.06+j0.074	0.0198 + J 0.0666	1.26-j.52	1.36	-0.39
3 - 5	0.07+j0.016	0.0224 + J 0.07551	0.44-j0.79	0.9	-1.06
4 - 5	0.13+j0.09	0.0211 + J 0 .071	1.66-j1.33	1.12	-0.67



Graphe N° 6 : Montre les courants dans chaque branche

3.4.4. Calcul des puissances à l'origine et à l'extrémité de chaque ligne

-Calcule des puissances à l'origine

$$S_{ij} = \sqrt{3} \cdot U^0 \cdot I_{ij}$$

Avec :

$S^{\circ}ij$: puissance à l'origine de la ligne

U_{ij} : tension à l'origine de la ligne

S^eij : puissance à l'extrémité de la ligne

U_{ij} : tension à l'extrémité de la ligne

Tableau N° 18-regroupe les valeurs des puissances dans chaque origine

Branches	I_{ij} (pu)	U^0 (pu)	S^0_{ij} pu)
1 - 2	3.61-j2.329	0.86-J0.16	4.73-j4.46
1 - 4	1.56-j1.25	0.86-J0.16	1.97-j2.29
2 - 3	2.76-j1.4	0.78-J0.23	3.17-j2.99
3 - 4	1.26-j.52	0.98.-J0.016	2.12-j0.91
3 - 5	0.44-j0.79	1.05	0.46-j0.82
4 - 5	1.66-j1.33	1.05	3.01-j2.41

-Calcul des puissances à l'extrémité :

$$S_{ij} = \sqrt{3} \cdot U^e \cdot I_{ij}$$

Tableau N° 19 - regroupe les valeurs des puissances dans chaque extrémité

Branches	I_{ij} (pu)	U^e_{ij} (pu)	S^e_{ij} (pu)
1 - 2	3.61-j2.329	0.78-J0.23	3.94-j4,358
1 - 4	1.56-j1.25	0.92-J 0.09	2.29-j2.23
2 - 3	2.76-j1.4	0.98.-J0.016	4.64 – j 2.45
3 - 4	1.26-j.52	0.92-J 0.09	1.92-j1.02
3 - 5	0.44-j0.79	0.98.-J0.016	0.72-j1.35
4 - 5	1.66-j1.33	0.92-J 0.09	2.43-2.37

3.4.5. Calcul des pertes de puissance

$$\Delta S_{ij} = S_{ij}^o - S_{ij}^e$$

Tableau N° 20- regroupe les valeurs des pertes de puissances dans chaque branche

Branches	S_e	S_o	$\Delta S_{ij}(pu)$
1 - 2	3.94-j4,358	4.73-j4.46	0.79-j0.102
1 - 4	2.29-j2.23	1.97-j2.29	-0.32-j0.06
2 - 3	4.64 - j 2.45	3.17-j2.99	-1.47-j0.54
3 - 4	1.92-j1.02	2.12-j0.91	0.2+j0.11
3 - 5	0.72-j1.35	0.46-j0.82	-0.26+j0.53
4 - 5	2.43-2.37	3.01-j2.41	0.58-j0.04

3.4.6. Pertes sommaires du réseau

Les pertes sommaires de puissance sont déterminées comme suit :

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum \Delta S_{ij}$$

$$\sum \Delta S_{ij} = -0.48 + j 0.102$$

$$|\sum \Delta S_{ij}| = 0.49/2.93 \text{ (pu)}$$

3.4.7. La puissance fournie par le nœud de base

L'expression $S_i = \sum_{j \neq i}^n S_{ij}^0, i \neq j$

Nous permet d'obtenir la puissance fournir par le nœud de base :

$$S_5 = S_{35}^0 + S_{14}^0$$

$$S_b = 3.47 + j 3.23 \text{ (pu)}$$

$$S_1 = S_{12} + S_{14}$$

$$S_1 = 6.70 - j 6.75 \text{ (pu)}$$

Conclusion

D'après les résultats et les graphes représentés du régime future de notre réseau, on conclue que :

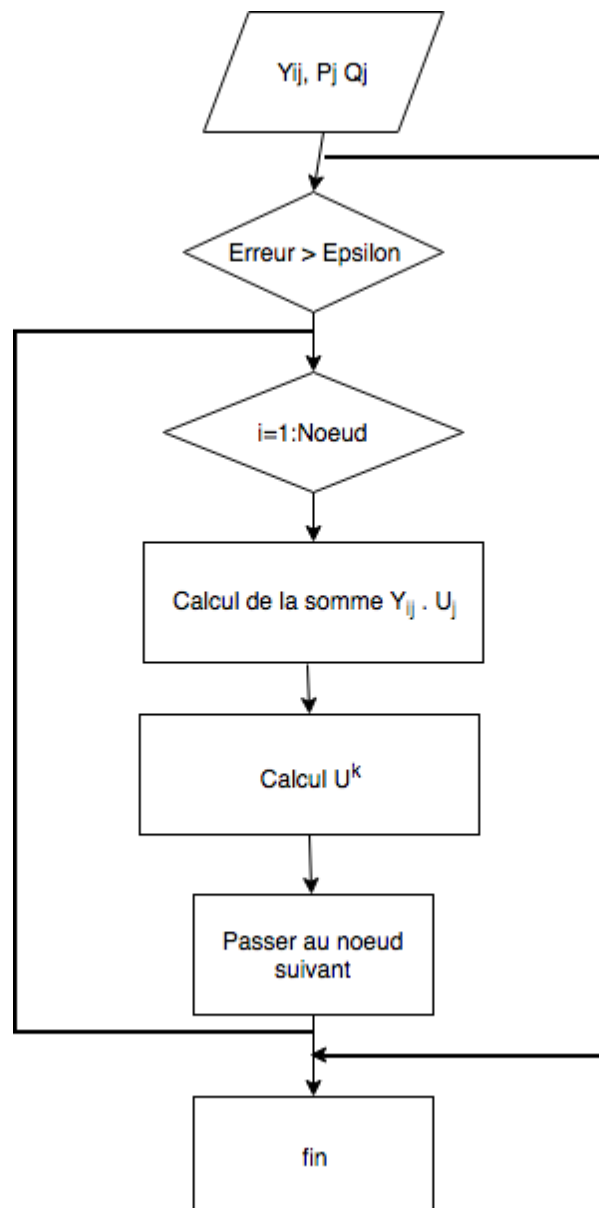
Les tensions sont inadmissibles aux niveaux les nœuds 1 et 2 , donc la première condition n'est pas vérifiée pour les nœuds 1 et 2 .

Les courants passant à travers les sections pour les différentes lignes sont Admissible sauf les deux branches 1-2 et 1-4 dont la valeur dépasse la valeur nominale acceptable 770 A donc ces valeurs sont inadmissibles.

Les chutes des tensions sont inadmissibles dans toutes les branches sauf la branche 1-2

il est nécessaire d'effectuer un réglage ou de poser des moyens de compensation.

Fig. N°6. Organigramme de l'algorithme de Gauss-Seidel



Chapitre IV

Modes de réglage de la tension en régime de fonctionnement future du réseau

4.1. Régime futur avec réglage centralisé

On suppose que la tension du nœud de référence constante et égale a $U_5 = 1.05U_n$ et on fixe la tension au nœud balancier qui porte le N° 1 ($U_1=1.05$) de notre réseau ensuite on portera cette tension a $U_1=1.07$ et on effectuera les calculs pour les deux niveaux de réglage de la puissance nécessaire.

Après l'exécution du programme Gauss-Seidel en Matlab, on trouve les résultats suivants :

4.1.1. Pour la tension $U_1= 1.05 U_n$

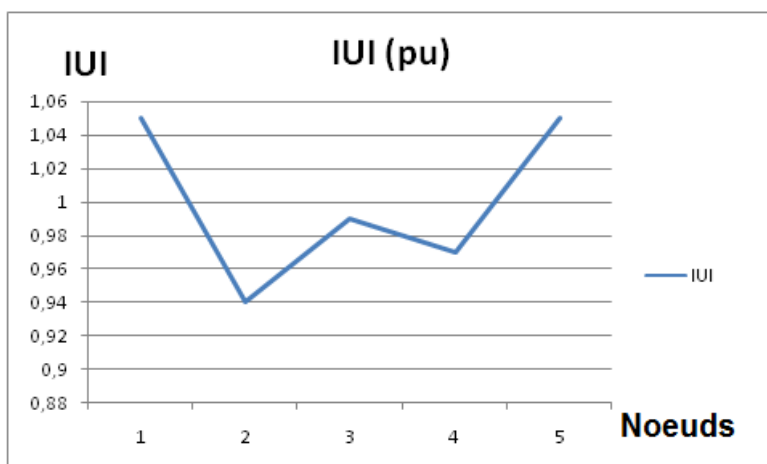
4.1.1.1. Tensions nodales

Nbr d'itération : 22

Erreur :8.8961e-009

Tableau N° 21 – regroupe les valeurs des tensions nodales.

Nœuds	Valeurs initiales	U (pu)	IUI (pu)	Ureel(KV)	IUI/deg(KV)
1	1,05/0	1,05	1,05	230	230/0
2	1/0	0,9237-j 0,1821	0,94	203,214-j40,062	206,8/-11,15
3	1/0	0,9901-j 0,1001	0,99	217,822-j22,022	217,8/-5,77
4	1/0	0,9639-j 0,123	0,97	212,058-j27,06	213,4/-7,27
5	1,05/0	1,05	1,05	230	230/0



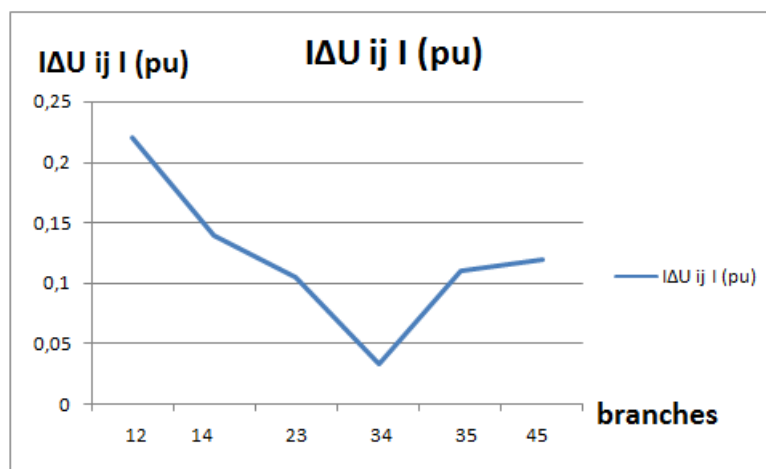
Graph N° 1 : Courbe des tensions nodales du réseau

4.1.1.2. Calcul des chutes de tension dans les branches

$$\Delta U_{ij} = U_i - U_j$$

Tableau 22 – Regroupe les valeurs des chutes de tension dans les branches

Branches	ΔU_{ij} (pu)	$I \Delta U_{ij} I$ (pu)	ΔU_{ij} (KV)	$I \Delta U_{ij} I$ (KV)
12	0,1263+j0,1821	0,22	27,786+j40,062	48,4
14	0,0863+j0,119	0,14	18,986+j26,18	30,8
23	0,0664+j0,082	0,105	14,608+j18,04	23,1
34	0,0262+j0,0229	0,034	5,764+j5,038	7,48
35	0,0599+0,1001	0,11	13,178+j22,022	24,2
45	0,0861+j0,123	0,12	18,942+j27,06	33



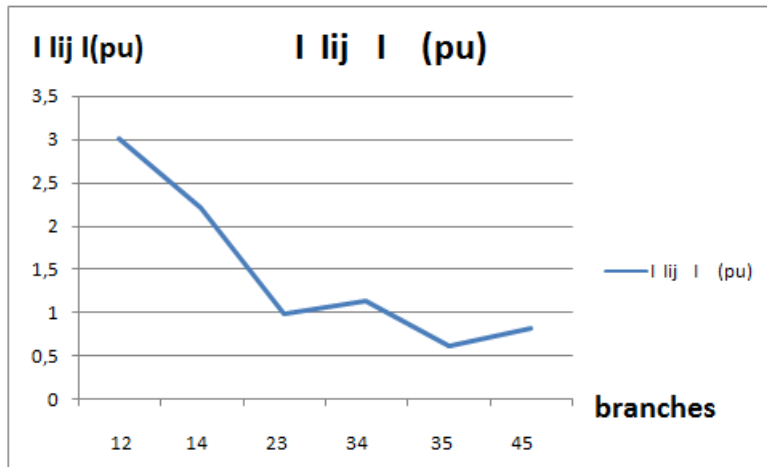
Graph N°2 : Courbe des chutes de tensions dans les branches

4.1.1.3. Calcul des Courants dans les branches

$$I_{ij} = \frac{\Delta U_{ij}}{Z_{ij}}$$

Tableau N° 23 - Regroupe les calculs des Courants dans les branches

Branches	I_{ij} (pu)	$I I_{ij} I$ (pu)	I_{ij} (A)	ANGLE
12	2,899-j0,841	3,018	790,71	-16,17
14	2,22-j0,0991	2,222	582,164	-45,28
23	0,699-0,706	0,9932	260,16	-2,55
34	0,344+j1,0875	1,14	298,68	72,44
35	0,323-j0,539	0,62	162,44	-59,06
45	0,667-j0,491	0,83	217,46	-36,23



Graph N° 3 : Courbe des courants dans chaque branche

4.1.1.4. Calcul des puissances à l'origine et à l'extrémité de chaque ligne

- Calcul des puissances à l'origine

$$S^0_{ij} = U_i I_{ij} \sqrt{3}$$

Tableau N° 24- regroupe les valeurs des puissances à l'origine de chaque ligne

Branches	I _{ij} (pu)	S ₀
12	2,899-j0,841	5,27-j1,529
14	0,699-0,706	1,27-j1,28
23	2,22-j0,0991	3,52-j0,85
34	0,344+j1,0875	0,77+j1,8
35	0,323-j0,539	0,58-j0,98
45	0,667-j0,491	1,21-j0,89

- Calcul des puissances à l'extrémité

$$S^e_{ij} = U_j I_{ij} \sqrt{3}$$

Tableau N° 25 - regroupe les valeurs des puissances à l'extrémité de chaque ligne

Branches	Iij (pu)	Se
12	2,899-j0,841	4,37-j2,249
14	0,699-0,706	1,01-j1,32
23	2,22-j0,0991	3,78-j0,55
34	0,344+j1,0875	0,80+j1,74
35	0,323-j0,539	0,46-j0,98
45	0,667-j0,491	1,008-j0,96

4.1.1.5. Calcul des pertes de puissances

$$\Delta S_{ij} = S_{ij}^o - S_{ij}^e$$

Tableau N° 26 - regroupe les valeurs des pertes de puissances dans chaque branche

branches	ΔS_{ij}
12	0,9 -j 0,72
14	0,26 + j 0,04
23	0,26 -j 0,3
34	0,03 + j 0,06
35	0,12
45	0,20 + j0,07

4.1.1.6. Calcul des pertes sommaires

Les pertes sommaires de puissance sont déterminées comme suit :

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum \Delta S_{ij}$$

$$\sum \Delta S_{ij} = 1.712 + j 0.59$$

$$I \sum \Delta S_{ij} I = 1.81 / 19.01 \quad (\text{pu})$$

4.1.1.7. Calcul de la puissance fournie par le nœud de base

$$S_5 = S_{45}^o + S_{35}^o = 1.79 - j1.87$$

$$EtS_1 = S_{14}^o + S_{12}^o = 6.54 - j 2.809$$

4.1.2. Pour la tension $U_1 = 1.07 U_n$

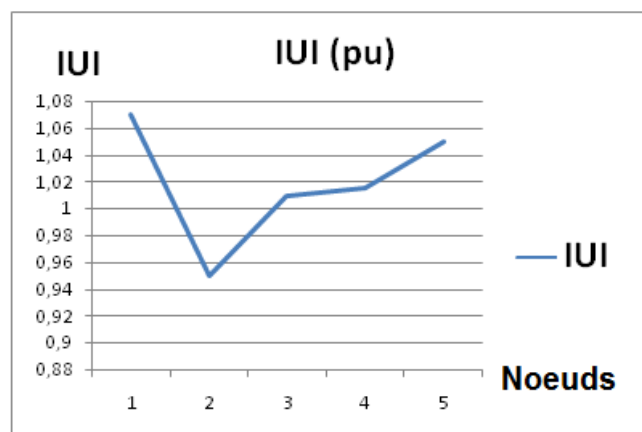
4.1.2.1. Tensions nodales

Nbr d'itération : 2 4

Erreur : 8.7913e-009

Tableau 27 - regroupe les valeurs des tensions nodales

Nœuds	Valeurs initiales	U (pu)	IUI (pu)	Ureel(KV)	IUI/deg (KV)
1	1,07∠ 0	1,07	1,07	235.4	235.4/0
2	1∠ 0	0,9345-j 0,209	0,95	205.59+j45.98	60.10/
3	1∠ 0	1.002-j 0,0123	1.01	220.44+j2.706	220.4/0.7
4	1∠ 0	1,001-j 0,037	1.015	220.22+j8.14	220.37/2.11
5	1,05∠ 0	1,05	1,05	230	230/0



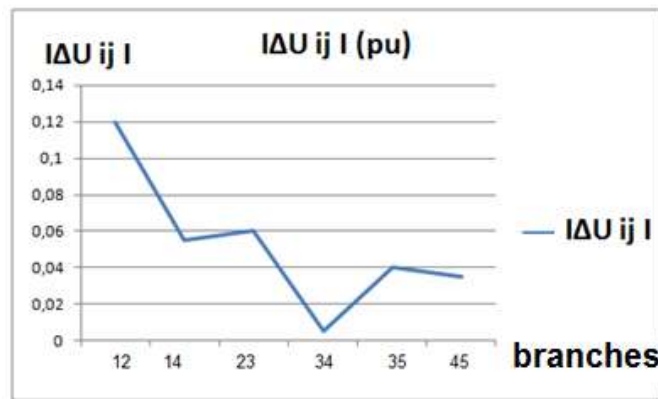
Graphe N° 4 : Courbe des tensions nodales du réseau

4.1.2.2. Calcul des chutes de tension dans les branches

$$\Delta U_{ij} = U_i - U_j$$

Tableau 28 - regroupe les valeurs des chutes de tension dans les branches

Branches	ΔU_{ij} (pu)	$I \Delta U_{ij}$ I (pu)	ΔU_{ij} (KV)	$I \Delta U_{ij}$ I (KV)
12	0.1355+j0.209	0.12	29.81+j45.98	26.4
14	0.069+j0.037	0.055	15.18+j8.14	1.452
23	0.0675+j0.1967	0.06	14.85+j43.274	13.2
34	0.001+j0.0247	0.005	0.22+j5.434	1.1
35	0.048+j0.0123	0.04	10.56+j2.706	8.8
45	0.049+0.037	0.035	10.78+j8.14	7.7



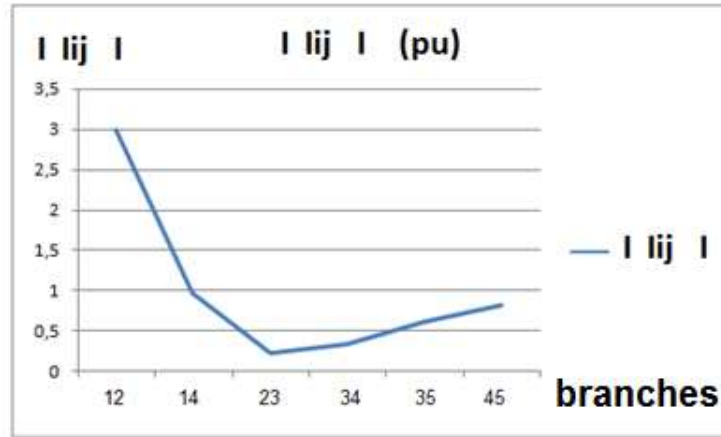
Graph 5 : Courbe des chutes des tensions dans les branches

4.1.2.3. Calcul des Courants dans les branches

$$I_{ij} = \frac{\Delta U_{ij}}{Z_{ij}}$$

Tableau N° 29 -regroupe les valeurs des Courants dans les branches

Branches	I_{ij} (pu)	$I I_{ij}$ I (pu)	I_{ij} (A)
12	2,88 - j 0,84	3	786
14	0,69-j 0,7	0.98	256.76
23	0,221-j0,068	0.23	60.26
34	0,34+j0,087	0.35	91.7
35	0,32-j 0,54	0.62	162.44
45	0,667-j0,491	0.82	214.84



Graph N° 6 : Montre la courbe des courants dans les branches

4.1.2.4. Calcul des puissances à l'origine et à l'extrémité de chaque ligne :

- Calcul des puissances à l'origine :

$$S_{ij}^0 = U_i I_{ij} \sqrt{3}$$

Tableau N° 30 – regroupe les valeurs des puissances à l'origine de chaque branche

Branches	I _{ij}	S _{ij} ⁰
12	2,88 - j 0,84	5,33-j1,55
14	0,69-j 0,7	1,27-j1,29
23	0,221-j0,068	0,33-j0,19
34	0,34+j0,087	0,59+j0,143
35	0,32-j 0,54	0,33-j0,56
45	0,667-j0,491	1,21-j0,89

- Calcul des puissances à l'extrémité

$$S_{ij}^e = U_j I_{ij} \sqrt{3}$$

Tableau N° 31 - regroupe les valeurs des puissances à l'extrémité

Branches	I ij	Se ij
12	2,88 - j 0,84	4,35-j2,4
14	0,69-j 0,7	1,15-j1,25
23	0,221-j0,068	0,38-j0,12
34	0,34+j0,087	0,59+j0,129
35	0,32-j 0,54	0,54-j0,94
45	0,667-j0,491	1,12-j0,89

4.1.2.5. Calcul des pertes de puissances

$$\Delta S_{ij} = S_{ij}^o - S_{ij}^e$$

Tableau N° 32 - regroupe les valeurs des pertes de puissances

ΔS_{ij}
0,98+j0,85
0,12-j0,04
-0.05-j0.07
0.058
-0.21+j0.44
0.09

4.1.2.6. Calcul des pertes sommaires

Les pertes sommaires de puissance sont déterminées comme suit :

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum \Delta S_{ij}$$

$$\sum \Delta S_{ij} = 0.988 + j 1.18$$

4.1.2.7. Calcul de la puissance fournie par le nœud de base

$$S_5 = S_{45}^o + S_{35}^o = 6.6 - j2.84$$

Et

$$S_1 = S_{14}^O + S_{12}^O = 1.54 - j1.45$$

4.2. Régime future avec Compensation

Ce régime consiste en l'installation de batteries de condensateurs pouvant relever les tensions aux nœuds 1 et 2 de notre réseau.

Nous avons choisi les batteries de condensateurs de puissance 48 MVAR pour le nœud 2 et 22 MVAR pour le nœud 1 et sur la base de ces puissance nous avons trouvés les résultats suivants :

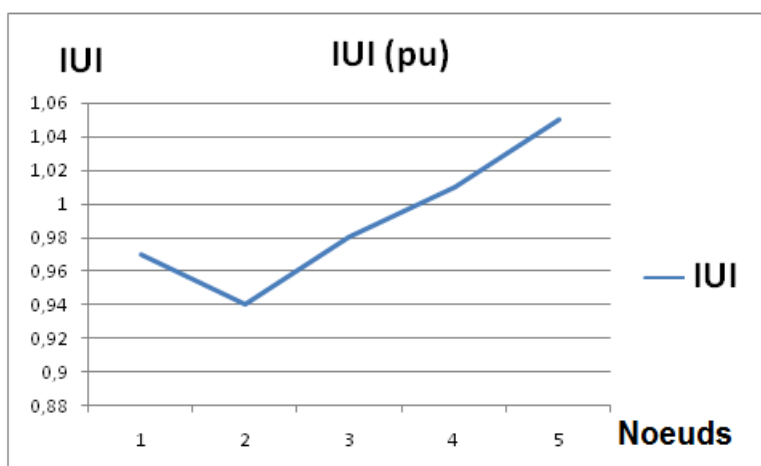
4.2.1. Tensions nodales

Nbr d'itération 27

Erreur $8.1020^{\circ} - 009$

Tableau 33 - regroupe les valeurs des tensions nodales

Nœuds	Valeurs initiales	U (pu)	IUI (pu)	Ureel(KV)	IUI/deg (KV)
1	1 ∠ 0	0.9648-j0.111	0.97	213.4	-6.56
2	1 ∠ 0	0.9233-j0.1829	0.94	206.8	-11.20
3	1 ∠ 0	0.9801-j0.109	0.98	215.6	-6.34
4	1 ∠ 0	1.007-j0.1170	1.01	222.2	-6.62
5	1,05 ∠ 0	1,05	1,05	230	0



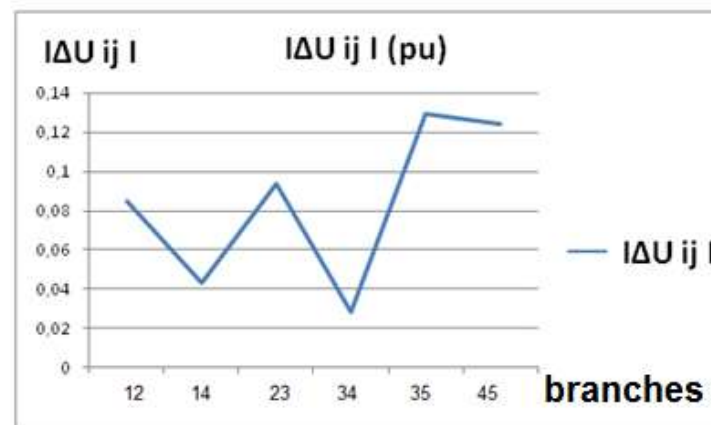
Graphe N°7 : Courbe des tensions nodales

4.2.2. Calcul des chutes de tension dans les branches :

$$\Delta U_{ij} = U_i - U_j$$

Tableau N° 34 - regroupe les valeurs des chutes de tension dans les branches

Branches	ΔU_{ij} (pu)	$I\Delta U_{ij}$ I (pu)	$I\Delta U_{ij}$ I (KV)
12	0,0447+j0,0719	0.0846	18.61
14	0,0422+j0,006	0.0426	9.372
23	0,0568+j0,0739	0.093	20.46
34	0,0269-j0,008	0.028	6.16
35	0,0699-0,109	0.129	28.38
45	0,043-0,1170	0.124	27.28



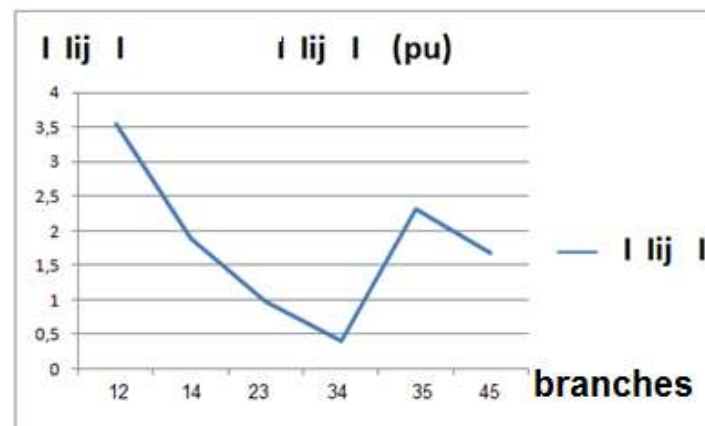
Graphe N° 8 : Courbe des chutes des tensions dans les branches

4.2.3. Calcul des Courants dans les branches :

$$I_{ij} = \frac{\Delta U_{ij}}{Z_{ij}}$$

Tableau N°35 – regroupe les valeurs des Courants dans les branches

Branches	I_{ij} (pu)	$ I_{ij} $ (pu)	I_{ij} (A)
12	$1,87+j3,02$	3.55	930.1
14	$1,88+j0,26$	1.89	495.18
23	$0,92-j0,35$	0.98	256.76
34	-0,4	0.4	104.8
35	$-1.074-j1.244$	2.31	605.22
45	$-1.34-j1.006$	1.67	437.54



Graphe N° 9 : Courbe des courants dans chaque branche

4.2.4. Calcul des puissances à l'origine et à l'extrémité de chaque ligne

- Calcul des puissances à l'origine

$$S_{ij}^0 = U_i I_{ij} \sqrt{3}$$

Tableau N° 36 - regroupe les valeurs des puissances à l'origine

Branches	I ij	S0 ij
12	1,87+j3,02	3,7+j4,68
14	1,88+j0,26	3,19+j0,073
23	0,92-j0,35	1,36-j0,851
34	-0,4	-0.0755-j0.679
35	-1.074-j1.244	1,95-j2,26
45	-1.34-j1.006	-2,43-j1,829

- Calcul des puissances à l'extrémité

$$S^e_{ij} = U_j I_{ij} \sqrt{3}$$

Tableau N° 37 - regroupe les valeurs des puissances à l'extrémité

Branches	I ij	Se ij
12	1,87+j3,02	3,94+j 4,23
14	1,88+j0,26	3,33+j0,072
23	0,92-j0,35	1,49-0,79
34	-0,4	-0,081-0,697
35	-1.074-j1.244	-2.058-j1.909
45	-1.34-j1.006	-2.54-j1.483

4.2.5. Calcul des pertes de puissances :

$$\Delta S_{ij} = S_{ij}^o - S_{ij}^e$$

Tableau N° 38 - regroupe les valeurs des pertes de puissances.

ΔS_{ij}
-0,24 +j0,45
-0,14+j0,001
-0.79-j0.061
0.0055+j0.018
4.008-j0.351
0.11-j0.346

4.2.6. Calcul des pertes sommaires

Les pertes sommaires de puissance sont déterminées comme suit :

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum \Delta S_{ij}$$

$$\sum \Delta S_{ij} = 2.964 - j 5.595$$

4.2.7. Calcul la puissance fournie par le nœud de base

$$S_5 = S_{54}^O + S_{53}^O = 6.89 + j 4.75 \text{ MVA}$$

Et

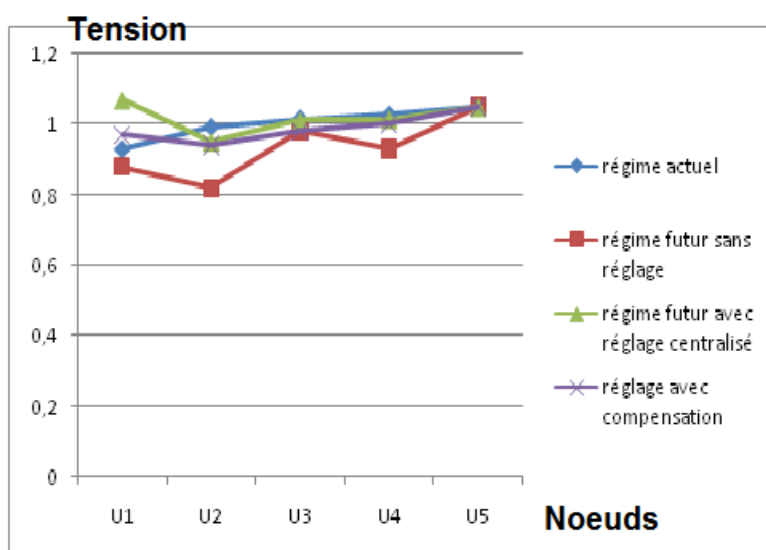
$$S_1 = S_{14}^O + S_{12}^O = -0.48 - j 4.089 \text{ MVA} .$$

4.3. Comparaison des résultats obtenus pour les différents régimes:

4.3.1. Comparaison entre les tensions

Tableau N° 39- Montre la comparaison entre les tensions

Les tensions	Régime actuel	Régime futur Sans réglage	Régime futur avec réglage	Régime futur avec compensation
U1	0,931	0,88	1,07	0,97
U2	0,993	0,82	0,95	0,94
U3	1,016	0,98	1,01	0,98
U4	1,027	0,93	1,015	1,001
U5	1,05	1,05	1,05	1,05

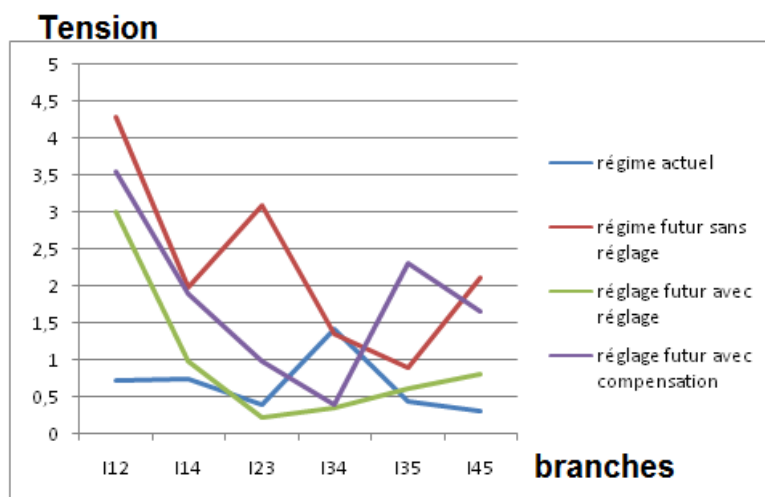


Graphe N°10- Montre la comparaison entre les tensions

4.3.2. Comparaison entre les courants

Tableau N° 40 - Montre la comparaison entre les courants

Les courants	Régime actuel	Régime futur Sans réglage	Régime futur avec réglage	Régime futur avec compensation
12	0.714	4.29	3	3.55
14	0.745	1.99	0.98	1.89
23	0.386	3.09	0.23	0.98
34	1.42	1.36	0.35	0.4
35	0.437	0.9	0.62	2.31
45	0.309	2.12	0.82	1.67

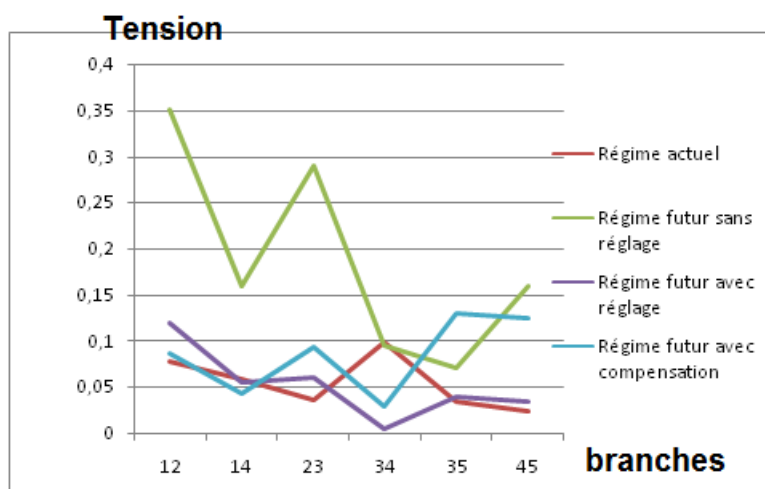


Graph N°11- Montre la comparaison entre les courants

4.3.3. Comparaison entre les chutes de tensions

Tableau N°41 - Montre la comparaison entre les chutes de tensions

Les chutes des tensions	Régime actuel	Régime futur sans réglage	Régime futur avec réglage	Régime futur avec compensation
ΔU_{12}	0,077	0.35	0.12	0.0846
ΔU_{14}	0,058	0.158	0.055	0.0426
ΔU_{23}	0,036	0.29	0.06	0.093
ΔU_{34}	0,099	0.095	0.005	0.028
ΔU_{35}	0,034	0.07	0.04	0.129
ΔU_{45}	0,023	0.158	0.035	0.124



Graph N°12- Montre la comparaison entre les chutes tensions

4.4. Conclusion

Le réglage de la tension au niveau de la source ($I U I = 1.07$ ou $I U I = 1.05$) a permis d'ajuster les tensions nodales dans les limites admissibles (meilleurs résultats).

A noter que les chutes de tension par réglage centralisé ont diminué par rapport à celles obtenues par réglage au moyen des batteries de compensation.

Par contre les courants ont augmentés par rapport à ceux du réglage par compensation.

La compensation au niveau des nœuds 1 et 2 nous a donné des tensions dans les limites admissibles.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion

A partir de ce travail, on peut faire les conclusions générales suivantes :

- * le calcul préalable a permis d'élaborer un réseau à partir des données de base telles que les charges, les sources, et les distances entre noeuds.
- * l'écoulement de puissance, du réseau élaboré, a été effectué avec succès grâce au calcul itératif par la méthode de Gauss-Seidel.
- *La méthode de Gauss-Seidel donne de Bons résultat de calculs avec une précision de 10^{-8} .
- *l'injection de la puissance réactive joue un rôle déterminant sur le comportement des paramètres du réseau et en particulier sur les tensions nodales, les courants dans les lignes et les chutes des tensions ,ce qui influe sur les indices techno-économiques du réseau.
- *en peut conclure que le choix du mode de réglage de la tension dépend de la fourniture minimale de la puissance réactive de la source.

Il est à noter que le réglage centralisé est plus économique que le réglage par batterie de compensation.

Bibliographie

- [1] Réseau électrique https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_%C3%A9lectrique
- [2] Marc Séguin, Simon Vézina, « Note de cours » Physique XXI Volume B Page3.
- [3] K. CHIKH , Etude des phénomènes transitoires et optimisation dans les réseaux électriques Bilan de recherches scientifiques. Laboratoire de recherche LEB. Faculté des sciences de L'ingénieur. Département d'électrotechnique. Université de Batna.
- [4] Benyaza Mohamed-salah « Répartition optimal des puissances dans un réseau électrique.. ».
- [5] Amar G.Bose , Kenneth N . STEVENS "Introduction à la théorie des R.E" «Les presses de l'université de LAVAL Quebec-1969 »
- [6] Michel Agiset, Jean-Jacques Morf "Energie Electrique" Volume XII « Traité d'Electricité (E.P.F.L) Edition GEORGI 1981
- [7] William .D.,Stevenson Jr « Elements of power system analysis edition MC . Graw Hill
- [8] A . MAUDUIT , Daniel Dixneuf "Installations électriques à H et B . T" , Dunod Paris , 1964 LUC Lasue , Electrotechnique et E.E 2em édition. Fabien Bellouvet Dunod , Paris 2013 « Principes des circuits électriques » dunod , paris 2007
- [9] Chirifi .H., "Réglage de la tension du réseau HT" (Mémoire de master-chirifi .H) Univ.Annaba—2015
- [10] BENCHEIKH.A, «Etude de l'écoulement de puissance sur un réseau électrique en présence des systèmes FACTS », Mémoire de Master, Université de KASDI MERBAH OUARGLA 2016