

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université d'EL-Oued
Faculté des Sciences et Technologies



Mémoire de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et de Technologies

Filière: Génie Électrique

Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

Calcul d'écoulement des puissances dans un réseau électrique parla méthode Newton-Raphson

Diriger par :

M^{er} .GACEM Abdelmalek

Réaliser par :

BELILA Khaled

MEHDA Lourabi

BOUKHCHACHE Zakzria

Année universitaire : 2013/2014

REMERCIEMENT

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir prêter force patience et courage afin d'achever nos études en restant en bonne et parfaite santé.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à élaborer ce modeste travail :

À monsieur Gacem Abdel Malek notre encadreur pour ses conseils et directives.

À monsieur guia tatal pour son aide.

À monsieur khechkhouche ali.

Aux membres du jury qui on respecte leurs critiques et orientation.

Comme nous remercions profondément l'ensemble des enseignants qui ont veillé pour notre formation.

Et en fin nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour mener à bien notre projet de fin de cycle.

Merci

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- *Mes père et ma mère première la deuxième.*
- *Mes grandes parents et mes grand mères.*
- *Mes frères et sœurs .*
- *Mes oncles chacun par son nom.*
- *Mes fidèles amis chacun par son nom.*
- *Mes partenaires dans un travail « Boukhchache Zakaria, Mehda Lourabi ».*
- *Mont aide mes professeurs, mon encadreur « Jacem Abdel Malek ».*
- *Toute la promotion 2014.*

Belila Khaled

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- *Mes très chers parents, surtout ma mère qui était la source inépuisable de tendresse et qui m'a offert le soutien morale afin de réussir mes études*
- *Mes frères et et sœurs.*
- *M'ont aidé mes professeur « M. Gacem Abdelmalek »*
- *La fidèles amis dont citerais « Gater Chouayeb , Zidi yahya, Dahem Souhayeb, Jorni Med. Bachir , Mehda Badre Eldine , Mehda Mekdad , Mehda Issmaile , Bnine Bachire ».*
- *Mes partenaires : « Boukkehache Zakaria , Belila Khaled ».*
- *A tout la promotion 2014.*

Lourabi Mehda

Dédicace

Afin d'étude je me permets de faire hommage de ce travail à tous qui m'ont aidé mes professeurs, mon encadreur « M. Jacem Abdel Malek » pour sa modeste participation pour réaliser ce travail et d'avoir nous encadré.

Sans oublier mes parents et surtout ma fin chère maman et ma sœur « N.A.D.I.R.A » qui m'a guidé dans toutes les années et me donne toujours l'énergie pour réaliser mon but professionnel en avenir « Enchalah ».

Aussi à toute la famille : mes sœurs, mes frères j'aime beaucoup, je les souhaite la réussite dans la vie.

A toutes mes camarades surtout Khaled Belila, Mehda Lourabi qui a fait preuve de bonne volonté.

Boukhache Zakaria

Résumé

Dans ce travail, nous allons calcul l'écoulement de puissance par l'intermédiaire de la méthode de Newton-Raphson et nous étudier les résultats obtenus par le calcul de la tension et nous calculer l'écoulement par méthode Gauss-Seidel et d'étudier les résultats obtenus.

Après le calcul de la tension entre eux par rapport deux façons de voir de quelle manière le plus rapide et le plus précis.

Liste des figures

<i>Figure (I-1) : Modèles d'un générateur.....</i>	<i>04</i>
<i>Figure(I-2) : Modèle d'un transformateur.....</i>	<i>04</i>
<i>Figure(I-3) : Modélisation des lignes et des câbles par un schéma en Π équivalent.....</i>	<i>05</i>
<i>Figure(I-4) : Modèle d'une charge électrique sous forme d'une impédance constante.....</i>	<i>05</i>
<i>Figure(I-5) : Système à deux J.d.B.....</i>	<i>07</i>
<i>Figure(II-1) : graphe illustre la méthode Gauss-Seidel.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure(II-2) : Organigramme de la méthode de Gauss-Seidel.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure(II-3) :graphe illustre la méthode de Newton-Raphson</i>	<i>19</i>
<i>Figure (II-4) : Organigramme simplifié de l'algorithme de Newton-Raphson</i>	<i>22</i>
<i>Figure (III-1) : Schéma unifilaire du réseau électrique à 3 jeux de barres.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure(III-2) : Schéma unifilaire du réseau électrique à 6 jeux de barres.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure (III-3) : Convergence de la méthode Gauss-Seidel et la Newton-Raphson.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure (III-4) : Chute de tension sur le J.B 6.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure (III-5) : Influence de la compensation la tension.....</i>	<i>34</i>

Liste des symboles et des abréviations :

C : Capacité.

e : Nombre des éléments.

F : Facteur de puissance.

F_p : Perte active.

F_q : Perte réactive.

i : Numéro du J.d.B.

I_{boucle} : Courant aux boucles.

I_{bus} : Vecteur courant aux J.d.B.

I_i : Courant injecté au J.d.B. << *i* >>.

J.d.B : Jeux de barres.

K : Ordre d'itération.

l : Nombre de liens ou de boucle.

MOD : Module.

n : Nombre des nœuds

nb : Nombre des branches.

NI : Nombre max d'itération.

nj : Nombre de jeu de barre.

G-S : Gauss-Seidel.

P : Puissance active.

P_D : Puissance active demandée.

P_G : Puissance active générée.

P_L : Perte active de ligne.

PU : Per unité (unité relative).

Q : Puissance réactive.

Q_D : Puissance réactive demandée.

Q_G : Puissance réactive générée.

Q_L : Perte réactive de ligne.

R : Résistance.

S : Puissance apparente.

S_b : Puissance de base.

S_D : Puissance apparente demandée.

S_G : Puissance apparente générée.

T_S : La tolérance.

V_{boucle} : Tension dans la boucle.

V_{bus} : Vecteur tension aux J.d.B.

V_i : Tension au J.d.B.

X : Inductance.

X^* : Valeur complexe conjuguée.

Y_{boucle} : Matrice admittance de boucle.

Y_{bus} : Matrice admittance.

Z_{boucle} : Matrice impédance de boucle.

Z_{bus} : Matrice impédance.

δ : Phase de tension.

γ : Phase d'admittance.

ϵ : Tolérance estimée.

ACT : Active.

ARG : Argument.

J : Matrice jacobienne.

N-R : Newton-Raphson.

REACT : Réactive.

ref : Référence.

Susc : Susceptance..

SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION GENERALE.....</i>	<i>01</i>
CHAPITRE I : Modélisation et répartition de charge	
<i>I-1 Introduction</i>	<i>02</i>
<i>I-2 Objectifs des travaux.....</i>	<i>02</i>
<i>I-3 Définition la répartition de charge.....</i>	<i>03</i>
<i>I-4 Modélisation des éléments du réseau électrique.....</i>	<i>04</i>
<i>I-4-1 Modèle de Générateur.....</i>	<i>04</i>
<i>I-4-2 Modèle du transformateur.....</i>	<i>04</i>
<i>I-4-3 Modèle de Ligne de transport.....</i>	<i>05</i>
<i>I-4-4 Modèle de Charge électrique.....</i>	<i>05</i>
<i>I-4-5 Modèle des éléments shunt.....</i>	<i>06</i>
<i>I-5 Principe de fonctionnement d'un réseau électrique.....</i>	<i>06</i>
<i>I-5-1 Relations paramétriques du système.....</i>	<i>06</i>
<i>I-5-2 Les équations aux J.d.B</i>	<i>06</i>
<i>I-5-3 Formulation d'admittances de réseau.....</i>	<i>07</i>
<i>I-5-4 Calcul de la puissance au J.d.B.....</i>	<i>09</i>
<i>I-5-5 La puissance transmise dans la ligne.....</i>	<i>09</i>
<i>I-5-6 Les pertes dans la ligne.....</i>	<i>10</i>
<i>I-6 Classification des variables.....</i>	<i>11</i>
<i>I-6-1 Les variable de perturbation.....</i>	<i>11</i>

<i>I-6-2 Variables d'états.....</i>	<i>11</i>
<i>I-6-3 Variables de contrôle.....</i>	<i>11</i>
<i>I-7 Conclusion.....</i>	<i>11</i>

CHAPITRE II: Les méthodes numériques utilisées

<i>II-1 Introduction.....</i>	<i>13</i>
<i>II-2 La méthode itérative de Gauss-Seidel.....</i>	<i>13</i>
<i>II-2-1 Principe de la méthode Gauss-Seidel.....</i>	<i>13</i>
<i>II-2-2 Exemple.....</i>	<i>14</i>
<i>II-2-3 La méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance.....</i>	<i>16</i>
<i>II-2-4 Organigramme de la méthode de Gauss-Seidel.....</i>	<i>17</i>
<i>II-3 La méthode de NEWTONRAPHSON.....</i>	<i>18</i>
<i>II-3-1 Principe de la méthode NEWTON- RAPHSON.....</i>	<i>18</i>
<i>II-3-2 Exemple.....</i>	<i>18</i>
<i>II-3-3 La méthode de Newton-Raphson appliqué aux équations de l'écoulement de puissance</i>	<i>20</i>
<i>II-3-4 Organigramme NR.....</i>	<i>22</i>
<i>II-7 Conclusion.....</i>	<i>22</i>

CHAPITRE III: Programmation et simulation

<i>III-1 Introduction.....</i>	<i>24</i>
<i>III-2. Technique de solution.....</i>	<i>24</i>
<i>III-3 Exemple d'application.....</i>	<i>25</i>

<i>III-3.1 Résolution par Newton- Raphson.....</i>	<i>25</i>
<i>III-4 Réseau test à 6 J.D.B.....</i>	<i>28</i>
<i>III-4-1 Résolution par NEWTON-RAPHSON.....</i>	<i>29</i>
<i>III-4-2 Résolution par Gauss-Seidel.....</i>	<i>33</i>
<i>III-4-3 Comparaison entre Gauss-Seidel et Newton-Raphson.....</i>	<i>34</i>
<i>III-5 Influence d'une consommation excessive de réactif au bus 6.....</i>	<i>34</i>
<i>III-6 But du banc de capacités.....</i>	<i>35</i>
<i>III-7 conclusion.....</i>	<i>35</i>
<i>CONCLUSION GENERALE.....</i>	<i>36</i>

Introduction générale

Dans les réseaux électriques, il existe de nombreux problèmes qui ont des effets sur le but principal qui est, le maintien du système de puissance fonctionnel, dans son état normal. Parmi ces problèmes on trouve celui de l'écoulement de puissance.

On peut subdiviser le problème global de l'écoulement de puissance aux sous problèmes suivants, dont on discutera chacun d'eux séparément :

- ❖ Présentation d'un modèle mathématique adéquate pour le réseau qui doit exprimer d'une façon complète les relations entre les tensions et les puissances dans le système conducteur.
- ❖ Offrir les limites de la puissance et de la tension qui devant s'appliquer sur les différentes lignes électriques du réseau.
- ❖ Le calcul numérique des équations d'écoulement de puissance sous l'effet des limites précédemment mentionnées. Ces calculs doivent nous donner avec précision toutes les valeurs de la tension des conducteurs publiques.
- ❖ Si toutes les tensions des conducteurs publiques ont été déterminées, il faut enfin calculer les écoulements de puissance dans toutes les lignes de conduction.

Pour arriver à la solution du problème de l'écoulement de puissance, on utilise une des méthodes itératives. Parmi les plus importantes de ces méthodes est celles de Newton-Raphson et de Gauss-Seidel.

Dans notre projet, on a appliqué les deux méthodes itérative de Newton-Raphson et Gauss-Seidel sur quelques exemples concrets de différents réseaux en transformant la séquence des étapes de la méthode à un algorithme.

CHAPITRE 1

Modélisation et répartition de charge

I-1 Introduction :

La répartition des charges (load flow ou power flow) est l'un des principaux problèmes qui se pose aux gestionnaires d'un système de production -transport d'énergie électrique. Dans tout ensemble de centrales électriques alimentant un ensemble de consommateurs par l'intermédiaire d'un réseau de transport maillé, on doit déterminer la répartition des puissances fournies par ces centrales à un instant donné tout en respectant un ensemble de contraintes techniques et économiques.

La résolution du problème de la répartition des charges, nous permet de déterminer les valeurs du module et de la phase de la tension en chaque nœud du réseau pour des conditions de fonctionnement données. Ce qui nous permettrons de calculer les puissances transitées et générées et les pertes. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de déterminer les conditions de l'opération en régime permanent, d'un système de puissance, qui sont [01] :

- ❖ La formulation d'un modèle mathématique appropriée.
- ❖ La spécification d'un certain nombre de variables et de contraintes dans les nœuds du système.
- ❖ La résolution numérique du système.

I-2 Objectifs des travaux :

- ❖ L'équilibre entre la production et la demande de l'énergie électrique.
- ❖ le maintien des tensions aux J.d.B entre les limites tolérées ($V_{min} < V < V_{max}$), pour éviter l'endommagement de certains récepteurs et l'excès des pertes de puissance dans les lignes et les transformateurs ...etc.
- ❖ Le contrôle de la puissance réactive c'est-à-dire, le maintien de cette puissance entre deux limites ($Q_{min} < Q < Q_{max}$), pour éviter l'excès des coutes d'utilisation de la puissance réactive
- ❖ L'interconnexion entre les centrales et les réseaux qui permet d'améliorer la qualité d'énergie fournit en tension et fréquence.
- ❖ La planification des réseaux (étude prévisionnelle répandant à la demande des usager dans l'avenir) [02].

I-3 Définition la répartition de charge :

Les calculs de la répartition de charge prévoient les répartitions de puissance et de tension, pour avoir la capacité de réglage d'un système d'énergie spécifi par des générateurs, condensateurs, transformateurs et des charges à tension régulière.

Cette information est essentielle pour la continuité de l'évaluation des performances du courant dans le système d'énergie et pour analyser l'influence des variations à prévoir pour le développement des systèmes en cas d'augmentation de la demande de charge.

Cette analyse exige le calcul nombreuses répartition de charge soit à l'état normale on dans les états critiques.

Le problème de la répartition de charge, consiste à calculer la répartition de puissance et de tension au réseau électrique pour de condition aux jeux de barres connexes. On associe à chaque J.d.B quatre quantités. La puissance active, la puissance réactive, le module de la tension et l'énergie de phase, deux de ces quatre quantités sont spécifiées et les deux autres sont à calculer. Donc, on peut classer les jeux de barres comme suit [02] .

Jeu de barre de référence :

C'est un jeu de barre générateur où le module et la phase de tension (V , θ) sont tous deux spécifiés. Les puissances (P , Q) sont inconnues et doivent être calculées en dernier. Le jeu de barre de référence, est choisi parmi les jeux de barres générateurs dont la puissance active est la plus importante. Ce jeu de barre est pris comme référence des angles de tension [03].

Jeu de barre contrôle :

Ce jeu de barre est connecté à un générateur délivrant une puissance active P sous une tension constante V contrôlée par un régulateur automatique de tension (AVR). Donc (P , V) sont spécifiées alors que (Q , θ) sont à calculer [03].

Jeu de barre de charge :

Ce jeu de barre alimente une charge caractérisée par sa puissance active P et réactive Q . Donc, (P , Q) sont spécifiées, alors que (V , θ) sont à calculer [03].

I-4 Modélisation des éléments du réseau électrique :

I-4-1 Modèle de Générateur :

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. Dans l'état stationnaire, un générateur est généralement contrôlé de sorte que la puissance active (p_g) injectée au jeu de barre et la tension aux bornes du générateur soient maintenues constantes [03].

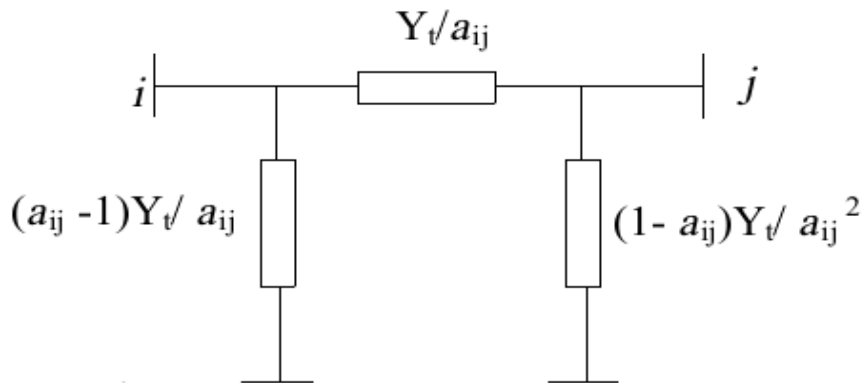
La puissance active du générateur est déterminée par le contrôle de la turbine, qui doit être dans la capacité du système turbine – générateur. La tension (V_g) est principalement déterminée par l'injection de la puissance réactive au jeu de barre de production .



Figure (I-1) : Modèle d'un générateur

I-4-2 Modèle du transformateur :

Un transformateur de l'énergie électrique est représenté par un quadripôle en π non symétrique. Les grandeurs associées sont le rapport de transformation a et l'impédance de fuite. Les rapports a_{ij} sont inclus dans les éléments de la matrice admittance, c'est-à-dire que les susceptances de la matrice admittance B_{ij} sont vues comme des fonctions de rapports de transformation a figure (I-2).

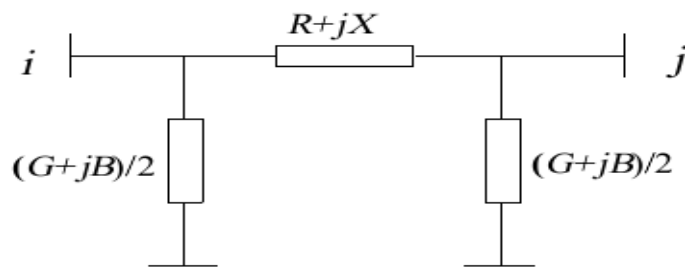


Figure(I-2) : Modèle d'un transformateur.

Dans un réseau électrique, les transformateurs qui sont connectés directement à la charge sont des transformateurs régulateur de charge (LTC). Ils disposent des régulateurs automatiques de la tension dans des limites permises de fonctionnement, indépendamment des fluctuations de tension primaire [04].

I-4-3 Modèle de Ligne de transport :

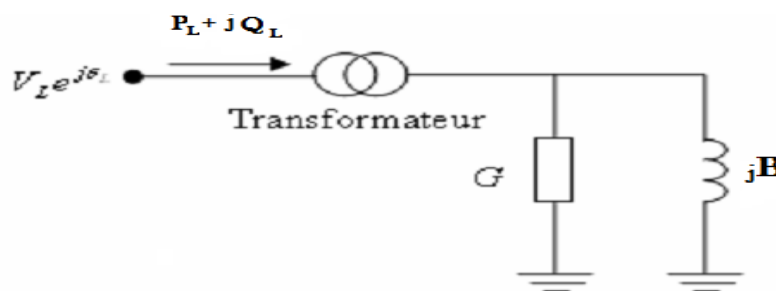
La ligne de transport a été modélisée par un schéma équivalent en π qui se compose d’une impédance série (résistance R en série avec une réactance inductive X), et une admittance shunt qui consiste en une susceptance capacitive B (due à l’effet capacitif de la ligne avec la terre) en parallèle avec une conductance d’isolation G. Voir figure (I-3) [07].



Figure(I-3) : Modèle d’une lignes par un schéma en Π équivalent.

I-4-4 Modèle de Charge électrique :

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d’une impédance constante. La plupart des charges représentent une sous-station (système de distribution). Ces charges sont connectées au réseau électrique à travers un transformateur à prises de charges variables, où le niveau de tension de la charge est maintenu pratiquement constant. Dans ce cas, les puissances actives et réactives de la charge peuvent être représentées par des valeurs constantes [03].



Figure(I-4) : Modèle d’une charge électrique sous forme d’une impédance constante

I-4-5 Modèle des éléments shunt :

Dans la plupart des cas, les éléments shunt sont les batteries de condensateurs et les réactances qui sont utilisés pour fournir ou absorber la puissance réactive afin d'obtenir un meilleur profil de tension [03].

I-5 Principe de fonctionnement d'un réseau électrique :

I-5-1 Relations paramétriques du système :

Les relations décrivant la topologie d'un système de distribution de peuvent être développées en utilisant les équations de continuité ou de courant de nœuds pour obtenir :

$$[I]_{bus} = [Y]_{bus}[V]_{bus}$$

Dans laquelle :

$[I]_{bus}$: vecteur des courants de nœuds.

$[Y]_{bus}$: matrice des admittances de nœuds.

$[V]_{bus}$: vecteur des tensions de nœud.

La relation suivante entraîne que :

$$[Z]_{bus} = [Y]_{bus}^{-1}$$

Où $[Z]_{bus}$ matrice des impédances de nœuds [05].

I-5-2 Les équations aux J.d.B :

Les puissances active et réactive à chaque J.d.B « i » sont :

$$P_i - jQ_i = V_i^* \cdot I_i \quad (\text{I-1})$$

$$\text{Avec } I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (\text{I-2})$$

Dans la formulation de l'équation du réseau, si les éléments shunts de mise à la terre sont inclus dans la matrice des paramètres l'équation (I-2) donne le courant total au J.d.B. D'un autre côté, si les éléments shunts du réseau ne sont pas inclus. Le courant total au J.d.B « i » est :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - Y_i \cdot V_i \quad (I-3)$$

Y_i : Admittance totale shunt au J.d.B « i ».

V_i : Courant de shunt circulant du J.d.B « i » vers la terre . [06]

I-5-3 Formulation d'admittances de réseau :

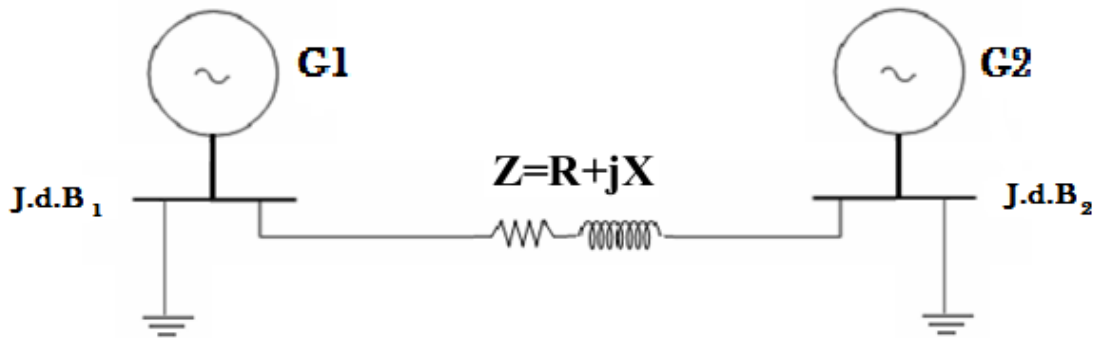


Figure I-5 : système à deux J.d.B

On note que:

$$S_1 = S_{G1} - S_{D1} \quad S_2 = S_{G2} - S_{D2}$$

Et en générale :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} \quad (I-4)$$

$$\begin{cases} S_i = P_i + jQ_i = (P_{Gi} + jQ_{Gi}) - (P_{Di} + jQ_{Di}) \\ S_i = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \end{cases}$$

L'application des lois de KIRCHHOFF sur le système donne :

Au niveau de J.d.B « 1 »

$$I_1 = y_p \cdot V_1 + y_s(V_1 - V_2) + (y_p + y_s)V_1 - y_s V_2 \quad (I-4-1)$$

On sait que : $S_1 = V_1 \cdot I_1^* \Rightarrow I_1 = \frac{S_1^*}{V_1}$

Au niveau de J.d.B « 2 »

$$I_2 = y_p \cdot V_2 + y_s(V_2 - V_1) + (y_p + y_s)V_2 - y_s V_1 \quad (I-4-2)$$

Avec : $S_2 = V_2 \cdot I_2^* \Rightarrow I_2 = \frac{S_2^*}{V_2^*}$

Alors on peut écrire (I-4-1) (I-4-2) sous la forme :

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{cases} \tag{I-5}$$

Avec :

$$Y_{11} = y_p + y_s \quad , \quad Y_{22} = y_p + y_s$$

$$Y_{12} = -y_s \quad , \quad Y_{21} = -y_s$$

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \tag{I-6}$$

On remplace (I-5) en (I-6) : $\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$

Et ainsi de suite. On peut généraliser la méthode de formulation comme suit pour le système à « n » J.d.B connectés entre eux [03]

$$I_1 = (\sum_{i=1, i \neq n}^m y_{1i})V_1 + (-y_{12})V_2 + \dots + (y_{1n})V_n$$

.

.

.

$$I_n = (-y_{n1})V_1 + (-y_{n2})V_2 + \dots + (\sum_{i=1, i \neq n}^m y_{ni})V_n$$

La matrice admittance est donc [03] :

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1, i \neq n}^n y_{1i} & \cdot & \cdot & (-y_{1n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (-y_{n1}) & \cdot & \cdot & \sum_{i=1, i \neq n}^m y_{ni} \end{pmatrix}$$

$$I_{bus} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{pmatrix}$$

$$V_{bus} = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{pmatrix}$$

I-5-4 Calcul de la puissance au J.d.B [03] :

On a :

$$S_i = (P_{Gi} - jQ_{Gi}) + (P_{Di} - Q_{Di}) = P_i + jQ_i$$

Alors :

$$S_i^* = P_i + jQ_i = V_i^* \cdot I_i$$

$$S_i^* = V_i^* \cdot \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad (\text{I-7})$$

En coordonnées polaires [03] :

$$V_i = |V_i| \cdot \angle \delta_i$$

$$y_{ij} = |y_{ij}| \cdot \angle \gamma_{ij}$$

$$S_i^* = P_i + jQ_i = V_i^* \cdot I_i = V_i^* \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \sum |y_{ij}| |Y| |V_j| e^{j(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij})}$$

Donc

$$P_i = \sum |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij})$$

$$Q_i = - \sum |y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + \gamma_{ij}) \quad (\text{I-8})$$

I-5-5 La puissance transmise dans la ligne :

Quand la solution itérative des tensions aux J.d.B est achevée, on peut calculer l'écoulement dans les lignes.

Le courant au J.d.B « i » dans la ligne de connexion de nœud « i » vers le nœud « k » est :

$$I_{ik} = (V_i - V_k) y_{ik} + V_i \cdot \frac{y'_{ik}}{2} \quad (\text{I-9})$$

y_{ik} : Admittance de la ligne entre les J.d.B « i » et « k ».

y'_{ik} : Admittance totale de la ligne de charge.

$V_i \cdot \frac{y'_{ik}}{2}$: Contribution du courant au J.d.B « i » due à la ligne de charge.

La puissance écoule, active et réactive, est :

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* \cdot I_{ik} \quad (\text{I-10})$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^*(V_i - V_k) y_{ik} + V_i^* \cdot V_i \cdot \frac{y_{ik}}{2} \quad (\text{I-11})$$

Soient P_{ik} et Q_{ik} les puissances active et réactive réparties du J.d.B « k » vers le J.d.B « i ».

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^*(V_k - V_i) y_{ik} + V_k^* \cdot V_k \cdot \frac{y_{ik}}{2} \quad (\text{I-12})$$

Les pertes de puissances dans la ligne « i-k » sont égales à la somme algébrique de la répartition des puissances déterminée à partir des relations (I-11) et (I-12) [03].

I-5-6 Les pertes dans la ligne :

Au niveau de J.d.B la puissance apparente écoule est la différence entre la puissance générée et la puissance demandée.

Pour un J.d.B « i » :

On a :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di}$$

Avec :

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} = F_{ip}$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = F_{iq}$$

$$\sum P_i = \sum F_{ip} = \sum P_{Gi} - \sum P_{Di}$$

$$\sum Q_i = \sum F_{iq} = \sum Q_{Gi} - \sum Q_{Di} \quad (\text{I-13})$$

Le système d'équations (I-13) exprime l'expression des pertes.

Ou bien on peut calculer les pertes par une autre méthode, on calcule les pertes au niveau des lignes puis la somme algébrique donne l'expression des pertes [03].

$$P_{Lij} = P_{ij} + P_{ji} \quad Q_{Lij} = Q_{ij} + Q_{ji} \quad (\text{I-14})$$

I-6 Classification des variable :**I-6-1 Les variable de perturbation :**

Ce sont les puissances $P_{D1}, P_{D2}, Q_{D1}, Q_{D2}$

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{bmatrix}$$

I-6-2 Variables d'états:

Ce sont les variables : $(V_1, V_2, \delta_1, \delta_2)$ Soit X un vecteur appelé vecteur d'état :

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ |V_1| \\ |V_2| \end{bmatrix}$$

I-6-3 Variables de contrôle :

Ce sont les puissances de source $P_{g1}, P_{g2}, Q_{g1}, Q_{g2}$

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ Q_{g1} \\ Q_{g2} \end{bmatrix}$$

Type de J.d.B	Les variables connues						Les variables inconnues			
	P_D	Q_D	P_G	Q_G	$ V $	δ	P_G	Q_G	$ V $	δ
J.d.B de référence	•	•			•	•	•	•		
J.d.B de charge	•	•	•	•					•	•
J.d.B de Contrôle	•	•	•		•			•		•

Tableau : Classification des variables

L'écoulement de puissance au niveau des J.d.B dans un système de puissance est comme la suite :

1% J.d.B de référence.

80% à 90% J.d.B de charge.

Le reste J.d.B sont de contrôle [07].

I-7 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a fait la modélisation de quelques éléments de puissance constituant le réseau de transport et la formulation mathématique de répartition de charge qui résulte en un groupe d'équations non linéaire, ces équations sont établies en utilisant les relations de nœud ou de boucle. La solution du système d'équations décrivant le modèle est basée sur les méthodes numériques itératives à cause de leur non linéarité. Ce dernier problème est le sujet du deuxième chapitre.

CHAPITRE II

LES METHODES NUMERIQUES UTILISEES

II-1 Introduction :

La modélisation mathématique des systèmes non linéaires qu'il fallait résoudre pour l'étude du phénomène de la répartition de charge, consiste à faire appel aux outils mathématiques tel que, les méthodes itératives sont approximatives par ce que pour les systèmes des équations non linéaires, c'est impossible de les résoudre par les méthodes directes (règle de CRAMER, méthode des racines carrées).

Ou par les méthodes itératives (méthode de relaxation), pour cela on utilise les méthodes itératives approximatives (méthode de GAUSS, méthode de GAUSS-SEIDEL, méthode de NEWTON-RAPHSON).

Dans ce chapitre; on présente les techniques numériques de quelques méthodes de calculs :

- ❖ Méthode de Gauss-Seidel.
- ❖ Méthode de Newton-Raphson [08].

II-2 La méthode itérative de Gauss-Seidel :

La méthode de GAUSS-SEIDEL est l'une de plus simples méthodes itératives Utilisées pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance pour résoudre un Ensemble très large d'équations algébriques non linéaires [08].

II-2-1 Principe de la méthode Gauss-Seidel:

Soit à résoudre la fonction : $F(x)=0$

Cette méthode est basée sur le changement de l'équation : $F(x)=0$ à la forme $x=g(x)$.

Pour une fonction $F(x)=0$, il est toujours possible de trouver une fonction $g(x)=0$, tel que

$X=g(x)$ ($g(x)$ n'est pas unique).

On estime une valeur initiale X^0

$$\begin{cases} X^1 = g(X^0) \\ X^2 = g(X^1) \\ \vdots \\ X^{k+1} = g(X^k) \end{cases}$$

Où k : numéro d'itération

Le processus itératif se termine si la différence entre deux valeurs successives vérifie le test de convergence [08] :

$$|X^{k+1} - X^k| \leq \varepsilon \tag{II-1}$$

Pour un système de n équations :

$$f_1(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$$

$$f_2(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \tag{II-2}$$

$$f_n(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$$

Pour trouver l'algorithme de Gauss-Seidel on a besoin de reformer la fonction $F(x)=0$ a la forme itérative $x=g(x)$

$$\begin{cases} X^1 = g(X^0) \\ X^2 = g(X^1) \\ \vdots \\ X^{k+1} = g(X^k) \end{cases} \tag{II-3}$$

A la fin de chaque itération on fait le test de convergence [08]:

$$|X^{k+1} - X^k| \leq \varepsilon \tag{II-4}$$

II-2-2 Exemple :

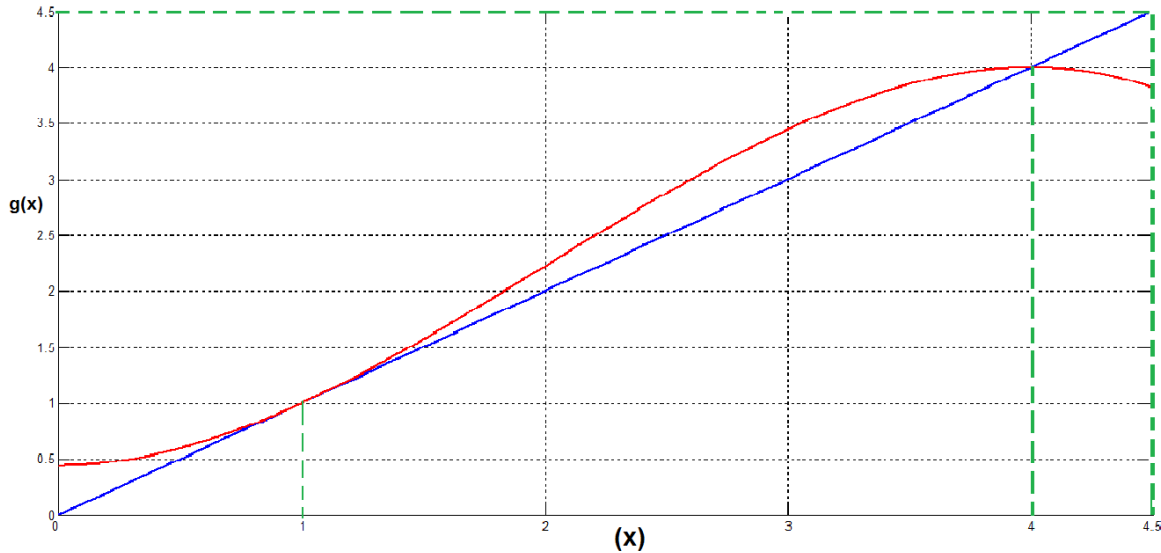
Soit la fonction suivant $f(x) = x^3 - 6x^2 + 9x - 4 = 0$. Pour résoudre ce fonction par la méthode itérative de Gauss-Seidel il faut écrire que :

$$x = -\frac{1}{9}x^3 + \frac{6}{9}x^2 + \frac{4}{9}$$

$$x = g(x)$$

Ou $g(x) = -\frac{1}{9}x^3 + \frac{6}{9}x^2 + \frac{4}{9}$

Pour plus de Taif on peut utiliser le commande MATLAB pour dessiner la fonction $g(x)$ et (x)



Figure(II-1) : graphe illustre la méthode Gauss-Seidel

A partir la figure(II-2).il claire que les racines de $f(x)$ 4 et 1.

Donc on a choisi la valeur initial de x.

$$x^{(0)} = 2$$

Alor :

$$x^{(1)} = g(2) = -\frac{1}{9}(2)^3 + \frac{6}{9}(2)^2 + \frac{4}{9} = 2.2222$$

2^{ème} itération :

$$x^{(2)} = g(2.2222) = -\frac{1}{9}(2.2222)^3 + \frac{6}{9}(2.2222)^2 + \frac{4}{9} = 2.5173$$

Donc l'itération suivante donner les résultats comme suite

2.8966 ; 3.3376 ; 3.7398 ; 3.9568 ; 3.9988 et 4.0000

Alor :

$$x = 4.0000$$

II-2-3 La méthode de Gauss Seidel appliqué aux équations de l'écoulement de puissance [07]:

Soit un réseau de n J.d.B :

On a :

$$\begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ \cdot \\ \cdot \\ In \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y11 & Y12 & \cdot & \cdot & Y1n \\ Y21 & Y22 & \cdot & \cdot & Y2n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Yn1 & Yn2 & \cdot & \cdot & Ynn \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Vn \end{bmatrix} \quad (II-5)$$

Donc, la tension à $(k + 1)^{ième}$ itération s'exprime à partir du système ci-dessus quand $V_i^{(k)}$ et $I_i^{(k)}$ sont trouvés à la $(k)^{ième}$ itérations par :

$$\begin{aligned} V_1^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{11}} [I_1^{(k)} - Y_{12}V_2^{(k)} - Y_{13}V_3^{(k)} - \dots - Y_{1n}V_n^{(k)}] \\ V_2^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{22}} [I_2^{(k)} - Y_{21}V_1^{(k)} - Y_{23}V_3^{(k)} - \dots - Y_{2n}V_n^{(k)}] \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ V_n^{(k+1)} &= \frac{1}{Y_{nn}} [I_n^{(k)} - Y_{n1}V_1^{(k)} - Y_{n2}V_2^{(k)} - \dots - Y_{n-1n}V_{n-1}^{(k)}] \end{aligned} \quad (II-6)$$

Tous les courants dans le système (II-6) sont inconnus ils sont donnée par :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (II-7)$$

D'où la formule générale pour déterminer la tension de nœud $i^{ième}$, qui s'écrit par :

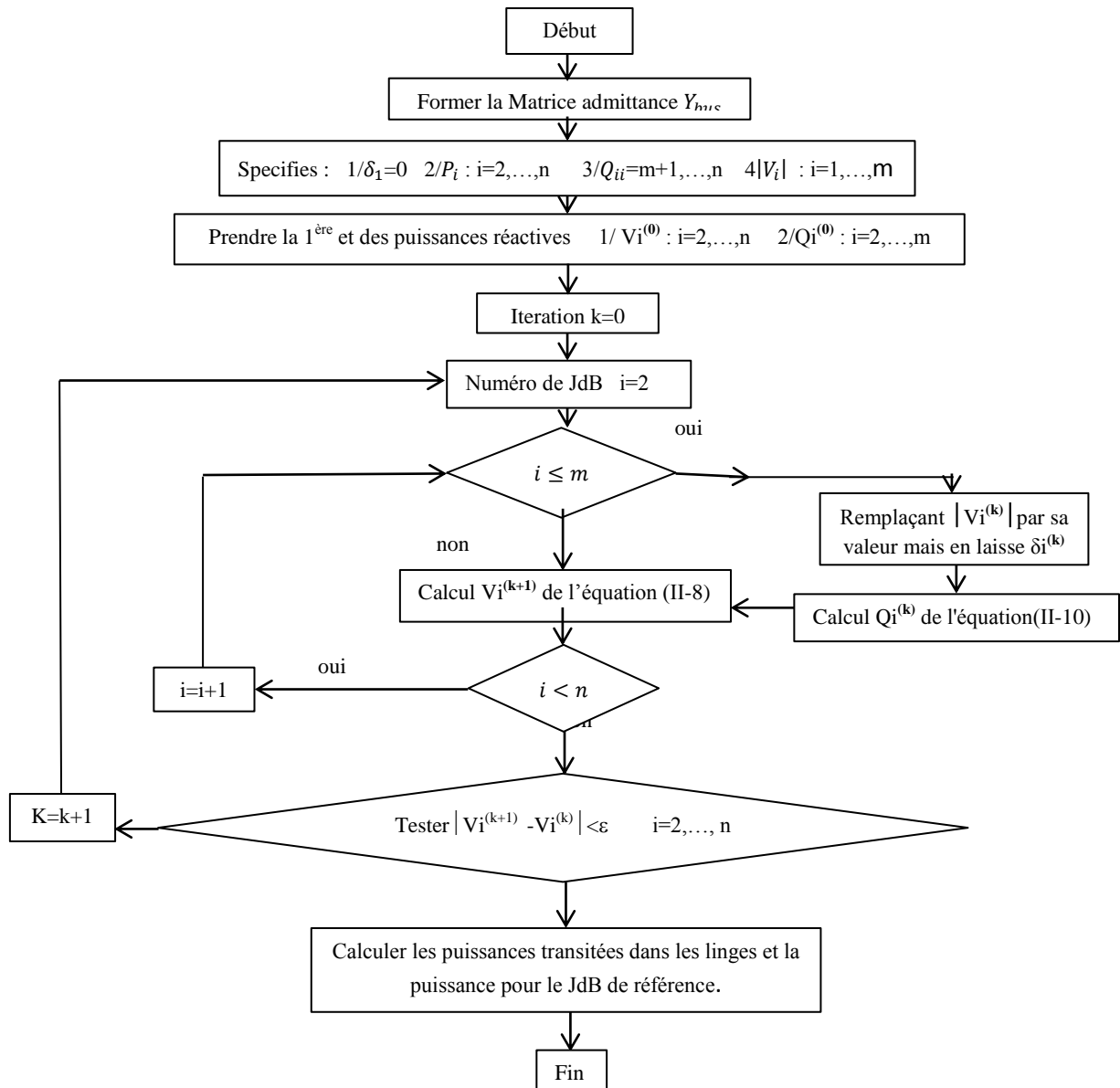
$$V_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^{*(k)}} - \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (II-8)$$

Où: k est le numéro d'itération

$$P_i^{(k+1)} = \text{Re} \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad (\text{II-9})$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\text{Im ag} \left\{ V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad (\text{II-10})$$

II-2-4 Organigramme de la méthode de Gauss-Seidel [07] :



Figure(II-2) : Organigramme de la méthode de Gauss-Seidel

II-3 La méthode de NEWTONRAPHSON [02]:**II-3-1 Principe de la méthode NEWTON- RAPHSON :**

Soit une fonction scalaire $F(x)=0$. Si F est continue et dérivable au voisinage de x , alors son développement en série de TAYLOR au voisinage $x=x(0)$ est :

$$f(X^{(0)}) + f'(X^{(0)}) \cdot \Delta X^{(0)} + \frac{f''(X^{(0)})}{2} (\Delta X^{(0)})^2 + \dots = 0 \quad (\text{II-11})$$

Si $X^{(0)}$ est une estimation proche de la solution de $F(x)=0$ est une estimation proche de la solution de $\Delta X^{(0)}$ (OU $\Delta X^{(0)} = X^{(1)} - X^{(0)}$) et les termes de degrés supérieurs sont négligeables.

On aura l'équation :

$$f(X^{(0)}) + f'(X^{(0)}) \cdot \Delta X^{(0)} = 0 \quad (\text{II-12})$$

$$\Delta X^{(0)} = - \frac{f(X^{(0)})}{f'(X^{(0)})}$$

$$X^{(1)} = X^{(0)} + \Delta X^{(0)} = X^{(0)} - \frac{f(X^{(0)})}{f'(X^{(0)})} \quad (\text{II-13})$$

En générale :

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} - \frac{f(X^{(k)})}{f'(X^{(k)})} \quad (\text{II-14})$$

k: Nombre des itérations, $k=0,1, 2, \dots, n$.

II-3-2 Exemple :

Soit le fonction $f(x) = x^3 - 6x^2 + 9x - 4$ de l'exemple précédente

Donc le solution par la méthode de Newton-Raphson devient comme suit :

$$\frac{df(x)}{dx} = 3x^2 - 12x + 9$$

On a choisi la valeur initial de $x^{(0)} = 6$

$$\Delta c^{(0)} = c - f(x^{(0)}) = 0 - [(6)^3 - 6(6)^2 + 9(6) - 4] = -50$$

$$\left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)} = 3(6)^2 - 12(6) + 9 = 45$$

$$\Delta x^{(0)} = \frac{\Delta c^{(0)}}{\left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)}} = \frac{-50}{45} = -1.111$$

Alor :

$$\Delta c^{(1)} = \Delta c^{(0)} + \Delta x = 6 - 1.111 = 4.8889$$

Dans le 2^{ème} itération

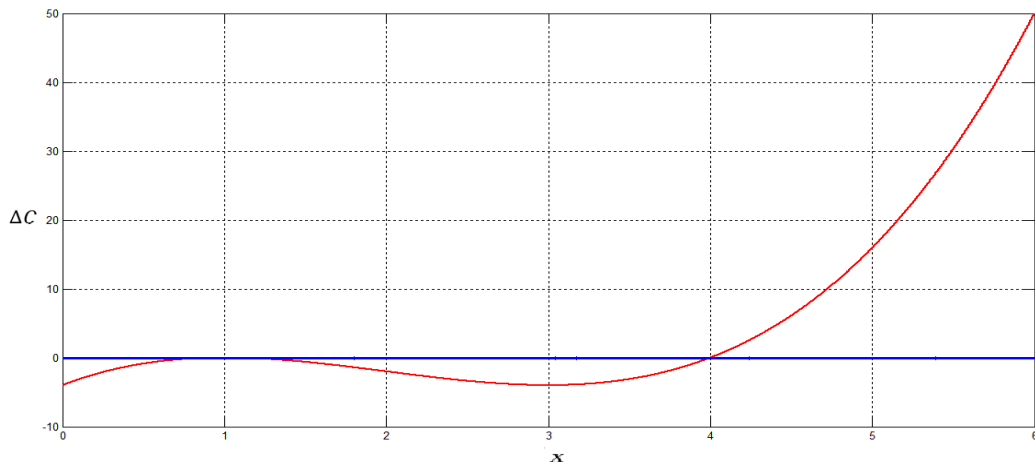
$$x^{(2)} = x^{(1)} + \Delta x^{(1)} = 4.8889 - \frac{13.4431}{22.037} = 4.2789$$

Donc les itérative suivant donne les résultats comme suit :

4.0405 , 4.0011 et 4

Donc

$$x = 4.0000$$



Figure(II-3) : graphe illustre la méthode de Newton-Raphson.

II-3-3 La méthode de Newton-Raphson appliqué aux équations de l'écoulement de puissance [02]:

D'après la forme générale d'équations de puissance au J.d.B :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + y_{ij}) = F_{ip} \\ Q_i = \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + y_{ij}) = F_{iq} \end{cases} \quad (\text{II-15})$$

Où

i=1 : J.d.B de référence

n: Nombre de J.d.B

i: Numéro de J.d.B

Après développement de F_{ip} et F_{iq} en série de TAYLOR autour de la première approximation [06] :

$$\begin{cases} P_i = F_{ip}^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{ip}}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta V_2^{(0)} \\ Q_i = F_{iq}^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial F_{iq}}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta V_2^{(0)} \end{cases} \quad (\text{II-16})$$

Avec $F_{ip}^{(0)}$ et $F_{iq}^{(0)}$ sont des fonctions de tension et de phase :

A partir de la relation de $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$

Avec

$$\begin{cases} \Delta P_i^{(0)} = P_i - F_{ip}^{(0)} \\ \Delta Q_i^{(0)} = Q_i - F_{iq}^{(0)} \end{cases} \quad (\text{II-17})$$

Les deux systèmes d'équation (II-16) et (II-17) donnent :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta P_n^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \Delta Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{2p}}{\partial \delta_2} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{2p}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{2p}}{|V_2|} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{2p}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{np}}{\partial \delta_2} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{np}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{np}}{|V_2|} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{np}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{2q}}{\partial \delta_2} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{2q}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{2q}}{|V_2|} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{2q}}{|V_n|} \\ \frac{\partial F_{nq}}{\partial \delta_2} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{nq}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial F_{nq}}{|V_2|} & \dots & \dots & \frac{\partial F_{nq}}{|V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \Delta \delta_n^{(0)} \\ \Delta V_2^{(0)} \\ \Delta V_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{II-18})$$

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta V^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \quad (\text{II-19})$$

On rappelle que :

$$\Delta \delta_i^{(k)} = \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^{(k)} \quad (\text{II-20})$$

$$i \neq 1(\text{ref}), i \neq 2(\text{cont}) \quad (\text{II-21})$$

$$\Delta |V_i|^{(k+1)} - |V_i|^{(k)} \quad (\text{II-22})$$

L'adaptation de (II-19) avec (II-22) donne :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k+1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} + [J^{(k)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad (\text{II-23})$$

D'une manière générale

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} + [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (\text{II-24})$$

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (\text{II-25})$$

J_1, J_2, J_3, J_4 Sont les sous matrice de Jacobienne [02].

II-3-4 Organigramme NR :

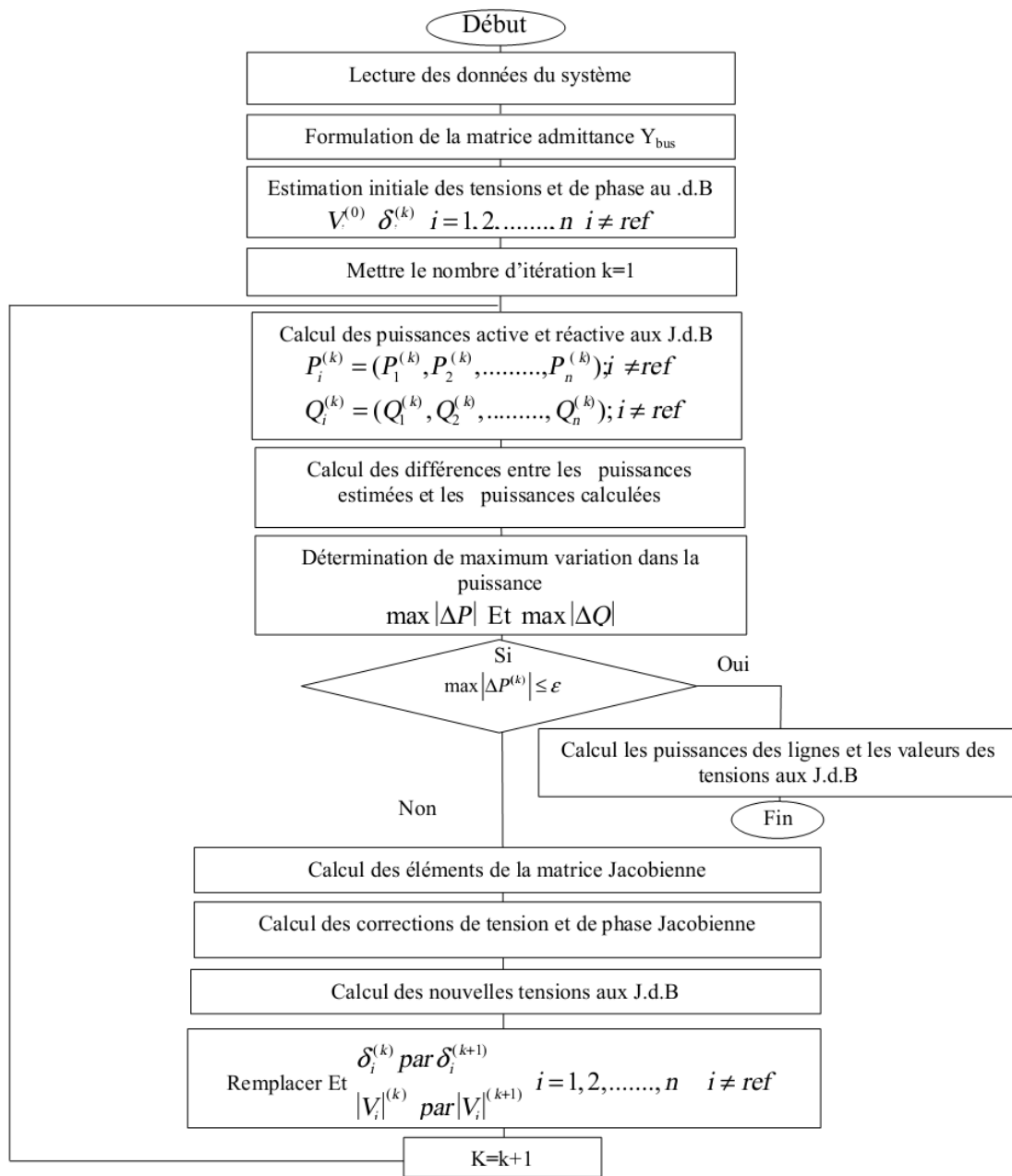


Figure (II-4) : Organigramme simplifié de l'algorithme de Newton-Raphson

II-7 Conclusion :

L'importance de l'étude de l'écoulement de puissance est capitale pour l'obtention de tous les paramètres du réseau électrique, pour chaque nœud dont ils : Puissance (Active et Réactive) Tension (Module et Angle), on a choisi la méthode de Newton-Raphson et GAUSS-SEIDEL pour résoudre les équation de l'écoulement de la puissance.

CHAPITRE III

Programmation et
simulation

III-1 Introduction :

La plus part des problèmes scientifiques sont exprimés en termes qu'un ordinateur ne peut accepter directement. Donc il faut trouver une méthode traduisant ces fonctions continues en fonction arithmétiques et en algorithmes, puis on traduit l'algorithme à un langage de programmation acceptable par l'ordinateur.

Dans notre projet on a choisit la méthode de Newton Raphson et Gauss-Seidel traitée par un programme en Matlab pour résoudre le problème de l'écoulement de la puissance dans les réseaux électriques. Ce programme a été appliqué à des systèmes de différents nombres de J.d.B.

III-2. Technique de solution :

Le programme de la répartition de charge consiste à intégrer une série de sous-programme dans l'ordinateur pour exécuter les calculs. Il est constitué de plusieurs parties différentes, les principales sont:

1. *Lecture des données :*

Dans cette partie on crée un fichier des données qui comprend tous les données dépendant du système traité (les données de lignes et de J.d.B) et l'utilisateur remplit ce fichier à partir du clavier.

2. *L'exécution :*

Dans cette partie le programme permet de lire les données puis il exécute tous les instructions comme suit :

- ❖ Formation de la matrice admittance Ybus.
- ❖ Calcul des puissances active et réactive aux J.d.B.
- ❖ Formulation de la matrice jacobienne.
- ❖ Détermination de l'inverse de la matrice jacobienne.
- ❖ Détermination des tensions et leurs phases pour chaque itération.
- ❖ Le test de tolérance.

3. *L'affichage de résultats :*

Les résultats obtenus après l'exécution du programme seront affichés dans un fichier de résultats.

4. Les sous-programmes :

Les sous programmes utilisés sont les suivants :

- ❖ DATA: pour remplir les données sous forme des matrices.
- ❖ Affichage : pour affiche les résultats dans les tableaux

III-3 Exemple d'application :

Ce réseau est constitué de 3 lignes de transport, 2 générateurs et 1 charges au niveau des jeux de barres n° 2 Figure (III-1). La puissance et la tension de base sont respectivement, 100 MVA et 230 KV. Les données de ce réseau sont montrées dans l'annexe.

Les puissances actives et réactives générées en MW et MVAR respectivement [02].

Le niveau de tension de chaque jeu de barre i en p.u doit obéir à la contrainte suivante

$$0.9 \leq V_i \leq 1.1$$

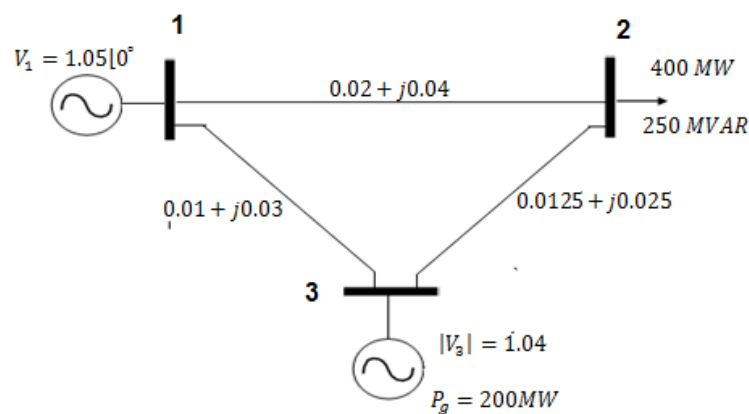


Figure (III.1): Schéma unifilaire du réseau électrique à 3 jeux de barres.

Pour former la matrice d'admittance de réseau il faut convertir les impédances de lignes au admittances

$$Y_{12} = -10 + j20; \quad Y_{23} = -16 + j32; \quad \text{et} \quad Y_{13} = -10 + j30$$

Donc on peut écrire la matrice d'admittance de ce réseau comme suite

$$Y_{bus} = \begin{pmatrix} 20 - j50 & -10 + j20 & -10 + j30 \\ -10 + j20 & 26 - j52 & -16 + j32 \\ -10 + j30 & -16 + j32 & 26 - j62 \end{pmatrix}$$

III-3.1 Résolution par Newton- Raphson :

1^{ère} itération :

D'après le forme générale d'équation de la puissance au J.d.B

$$P_i = \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

où i et j : numéro de J.D.B

n : nombre de J.D.B

donc le puissance active au J.D.B 2,3 et la puissance réactive au J.D.B N°2 calculer comme suit :

$$P_2 = |V_2||V_1||Y_{21}|\cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_2|^2|Y_{22}|\cos\theta_{22} + |V_2||V_3||Y_{23}|\cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$P_3 = |V_3||V_1||Y_{31}|\cos(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |V_3||V_2||Y_{32}|\cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2) + |V_3|^2|Y_{33}|\cos\theta_{33}$$

$$Q_2 = -|V_2||V_1||Y_{21}|\sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - |V_2|^2|Y_{22}|\sin\theta_{22} - |V_2||V_3||Y_{23}|\sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$P_2 = -1.14 \text{ pu} , P_3 = 0.5616 \text{ pu} , Q_2 = -2.28 \text{ pu}$$

On calcule ΔP ou bus 2 et 3 et ΔQ de bus 2 pour la relative suivent :

$$\Delta P = \frac{P_g - P_d}{S_b} - P_{calculé}$$

$$\Delta Q = \frac{q_g - q_d}{S_b} - q_{calculé}$$

Donc le vecteur

$$\begin{pmatrix} \Delta P_2^0 \\ \Delta P_3^0 \\ \Delta Q_2^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.86 \\ 1.4384 \\ -0.22 \end{pmatrix}$$

Les éléments de la matrice jacobirinne trouve à partir de la dérivation partiel par rapport δ_2, δ_3 et $|V_2|$.

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} = |V_2||V_1||Y_{21}|\sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_2||V_3||Y_{23}|\sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} = -|V_2||V_3||Y_{23}|\sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} = |V_1||Y_{21}|\cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + 2|V_2||Y_{22}|\cos\theta_{22} + |V_3||Y_{23}|\cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} = -|V_3||V_2||Y_{32}|\sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} = |V_3||V_1||Y_{31}|\sin(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |V_3||V_2||Y_{32}|\sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} = |V_3||Y_{32}|\cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

donc

$$\begin{pmatrix} -2.86 \\ 1.4384 \\ -0.22 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 54.28 & -33.28 & 24.86 \\ -33.28 & 66.04 & -16.64 \\ -27.14 & 16.64 & 49.72 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\delta_2^0 \\ \Delta\delta_3^0 \\ \Delta|V_2^0| \end{pmatrix}$$

donc :

$$\delta^{k+1} = \delta^k + \Delta\delta^k$$

$$V^{k+1} = V^k + \Delta V^k$$

$$\begin{pmatrix} \Delta\delta_2^0 \\ \Delta\delta_3^0 \\ \Delta|V_2^0| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0453 \\ -0.007 \\ -0.0265 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \delta_2^1 \\ \delta_3^1 \\ |V_2^1| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.5934 \\ -0.4422 \\ 0.9735 \end{pmatrix}$$

Le processus se répète jusqu' à la condition suivante se vérifie

$$\text{MAX} \begin{pmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \end{pmatrix} \leq \varepsilon$$

2^{ème} itération :

$$\begin{pmatrix} -0.0992 \\ 0.0217 \\ -0.0509 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 51.7247 & -31.7656 & 21.3026 \\ -32.9816 & 65.6564 & -15.3791 \\ -28.5386 & 17.4028 & 48.1036 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\delta_2^1 \\ \Delta\delta_3^1 \\ \Delta|V_2^1| \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} \Delta\delta_2^1 \\ \Delta\delta_3^1 \\ \Delta|V_2^1| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0018 \\ -0.0010 \\ -0.0018 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \delta_2^2 \\ \delta_3^2 \\ |V_2^2| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.6962 \\ -0.4987 \\ 0.9717 \end{pmatrix}$$

3^{ème} itération :

$$\begin{pmatrix} -0.2166 \times 10^{-3} \\ 0.0382 \times 10^{-3} \\ -0.1430 \times 10^{-3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 51.5967 & -31.6939 & 21.1474 \\ -32.9339 & 65.5976 & -15.3516 \\ -28.5482 & 17.3969 & 47.9549 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\delta_2^2 \\ \Delta\delta_3^2 \\ \Delta|V_2^2| \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \Delta\delta_2^2 \\ \Delta\delta_3^2 \\ \Delta|V_2^2| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.3856 \times 10^{-5} \\ -0.2386 \times 10^{-5} \\ -0.4412 \times 10^{-5} \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} \delta_2^3 \\ \delta_3^3 \\ |V_2^3| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.6965 \\ -0.4988 \\ 0.9717 \end{pmatrix}$$

4^{ème} itération :

Donc les résultat trouve par le méthode Newton Raphson.

Numéro d iterations = 4
TENSION ET PUISSANCE AU NIVEAU DE J.D.B

JdB	Tension		Puissance Génereé		Puissance Demandée	
	N°	Module	Argument	MW	Mvar	MW
1	1.0500	0.0000	218.4228	140.8515	0.0000	0.0000
2	0.9717	-2.6965	0.0000	0.0000	400.0000	250.0000
3	1.0400	-0.4988	200.0000	146.1769	0.0000	0.0000

PUISSANCES TRANSMISES ET PERETE AU NIVEAU DES LIGNES

BRANCHES	Puissances transmises						Pertes	
	N°	AU	DU	P(I J)	Q(I J)	P(J I)	Q(J I)	PL
1	1	2	179.362	118.734	-170.968	-101.947	8.393	16.787
2	1	3	39.061	22.118	-38.878	-21.569	0.183	0.548
3	2	3	-229.032	-148.053	238.878	167.746	9.847	19.693

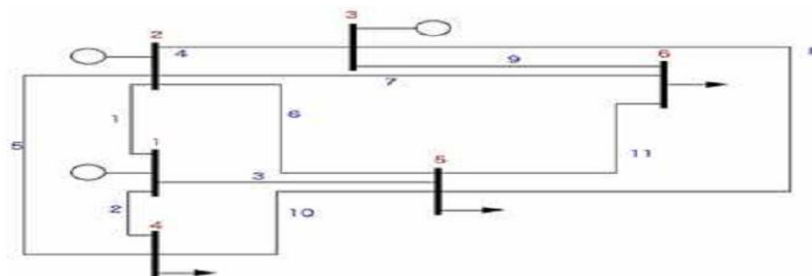
```

*****
la puissance active générée Totale(MW) est:      418.4228
La puissance réactive générée Totale(MVAR) est:   287.0284
La Puissance active demandée Totale(MW) est:     400.0000
La puissance réactive demandée Totale(MVAR) est: 250.0000
Les Pertes Actives Totale(MW) est:                18.4228
Les Pertes Réactives Totale(MVAR) est:           37.0284
Le Facteur de Puissance est:                      0.8246
*****
    
```

III-4 Réseau test à 6 J.D.B:

Ce réseau est constitué de 11 lignes de transport, 3 générateurs et 3 charges au niveau des jeux de barres n° 4, 5 et 6 Figure (III-1). La puissance et la tension de base sont respectivement, 100 MVA et 230 KV. Les données de ce réseau sont montrées dans l’annexe. Les puissances actives et réactives générées en MW et MVAR respectivement . Le niveau de tension de chaque jeu de barre i en p.u doit obéir à la contrainte suivante [03]

$$0.90 \leq V_i \leq 1.10$$



Figure(III.2) :Schéma unifilaire du réseau électrique à 6 jeux de barres.

III-4-1 Résolution par NEWTON-RAPHSON :

THEME :

CALCULE D'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE DANS UN RESEAU

ELECTRIQUE PAR LA METHODE NEWTON-RAPHSON

```
-----
| La solution Par Méthode Newton-Raphson: |
-----
```

```
      Numéro d itérations = 1
      TENSION ET PUISSANCE AU NIVEAU DE J.D.B
```

JdB N°	Tension		Puissance Générée		Puissance Demandée	
	Module	Argument	MW	Mvar	MW	Mvar
1	1.0500	0.0000	10.5333	33.3266	0.0000	0.0000
2	1.0500	-3.5313	50.0000	61.4821	0.0000	0.0000
3	1.0700	-4.1098	60.0000	96.5569	0.0000	0.0000
4	0.9906	-4.0910	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
5	0.9872	-5.1400	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
6	1.0053	-5.7991	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000

```
-----
      PUISSANCES TRANSMISES ET PERETE AU NIVEAU DES LIGNES
```

N°	BRANCHES		Puissances transmises				Pertes	
	AU	DU	P(I J)	Q(I J)	P(J I)	Q(J I)	PL	QL
1	1	2	0.000	-2.205	0.000	-2.205	0.000	-4.410
2	1	4	6.176	22.501	-5.882	-25.492	0.294	-2.991
3	1	5	4.357	13.031	-4.149	-18.484	0.207	-5.453
4	2	3	-1.615	-11.384	1.646	4.796	0.031	-6.588
5	2	4	21.000	40.898	-20.000	-40.981	1.000	-0.084
6	2	5	5.250	13.545	-5.000	-16.949	0.250	-3.404
7	2	6	8.185	20.629	-7.795	-24.798	0.390	-4.169
8	3	5	10.961	20.887	-10.244	-24.631	0.717	-3.745
9	3	6	14.404	70.874	-13.462	-68.318	0.942	2.556
10	4	5	0.000	-3.925	0.000	-3.898	0.000	-7.823
11	5	6	0.000	-2.923	0.000	-3.032	0.000	-5.955

```
*****
      la puissance active générée Totale(MW) est:      120.5333
      La puissance réactive générée Totale(MVAR) est:  191.3656
      La Puissance active demandée Totale(MW) est:    210.0000
      La puissance réactive demandée Totale(MVAR) est: 210.0000
      Les Pertes Actives Totale(MW) est:                3.8315
      Les Pertes Réactives Totale(MVAR) est:           -42.0663
      Le Facteur de Puissance est:                      0.5330
*****
```

La solution Par Méthode Newton-Raphson:

Numéro d iterations = 2

TENSION ET PUISSANCE AU NIVEAU DE J.D.B

JdB N°	Tension		Puissance Généréé		Puissance Demandée	
	Module	Argument	MW	Mvar	MW	Mvar
1	1.0500	0.0000	104.8732	15.5456	0.0000	0.0000
2	1.0500	-3.6708	50.0000	71.5734	0.0000	0.0000
3	1.0700	-4.2729	60.0000	87.9660	0.0000	0.0000
4	0.9894	-4.1956	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
5	0.9854	-5.2761	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
6	1.0044	-5.9471	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000

PUISSANCES TRANSMISES ET PERETE AU NIVEAU DES LIGNES

N°	BRANCHES		Puissances transmises				Pertes	
	AU	DU	P(I J)	Q(I J)	P(J I)	Q(J I)	PL	QL
1	1	2	27.582	-14.949	-26.744	12.214	0.837	-2.735
2	1	4	42.571	19.676	-41.532	-19.683	1.039	-0.007
3	1	5	34.720	10.819	-33.701	-13.216	1.020	-2.398
4	2	3	2.752	-12.235	-2.712	5.691	0.040	-6.544
5	2	4	33.106	44.792	-31.654	-43.968	1.452	0.823
6	2	5	15.369	14.804	-14.892	-17.521	0.477	-2.717
7	2	6	26.049	11.999	-25.480	-15.651	0.569	-3.653
8	3	5	19.018	22.519	-17.964	-25.525	1.054	-3.006
9	3	6	43.891	59.756	-42.907	-56.988	0.984	2.768
10	4	5	3.935	-4.996	-3.901	-2.736	0.034	-7.732
11	5	6	1.639	-9.414	-1.593	3.612	0.046	-5.802

 la puissance active générée Totale(MW) est: 214.8732
 La puissance réactive générée Totale(MVAR) est: 175.0850
 La Puissance active demandée Totale(MW) est: 210.0000
 La puissance réactive demandée Totale(MVAR) est: 210.0000
 Les Pertes Actives Totale(MW) est: 7.5523
 Les Pertes Réactives Totale(MVAR) est: -31.0012
 Le Facteur de Puissance est: 0.7752

La solution Par Méthode Newton-Raphson:

Numéro d itérations = 3

TENSION ET PUISSANCE AU NIVEAU DE J.D.B

JdB N°	Tension		Puissance Générée		Puissance Demandée	
	Module	Argument	MW	Mvar	MW	Mvar
1	1.0500	0.0000	107.8688	15.9554	0.0000	0.0000
2	1.0500	-3.6712	50.0000	74.3507	0.0000	0.0000
3	1.0700	-4.2733	60.0000	89.6237	0.0000	0.0000
4	0.9894	-4.1958	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
5	0.9854	-5.2764	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
6	1.0044	-5.9475	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000

PUISSANCES TRANSMISES ET PERETE AU NIVEAU DES LIGNES

BRANCHES N°	BRANCHES		Puissances transmises				Pertes	
	AU	DU	P(I J)	Q(I J)	P(J I)	Q(J I)	PL	QL
1	1	2	28.687	-15.418	-27.782	12.817	0.905	-2.600
2	1	4	43.583	20.119	-42.495	-19.932	1.087	0.187
3	1	5	35.599	11.254	-34.525	-13.449	1.073	-2.195
4	2	3	2.930	-12.269	-2.890	5.728	0.040	-6.541
5	2	4	33.091	46.051	-31.586	-45.123	1.505	0.929
6	2	5	15.514	15.352	-15.016	-18.005	0.498	-2.654
7	2	6	26.248	12.399	-25.665	-16.011	0.583	-3.612
8	3	5	19.117	23.173	-18.023	-26.094	1.093	-2.921
9	3	6	43.773	60.723	-42.770	-57.860	1.003	2.863
10	4	5	4.083	-4.942	-4.047	-2.785	0.036	-7.727
11	5	6	1.614	-9.663	-1.565	3.872	0.050	-5.791

```

*****
la puissance active générée Totale(MW) est:      217.8688
La puissance réactive générée Totale(MVAR) est:  179.9298
La Puissance active demandée Totale(MW) est:    210.0000
La puissance réactive demandée Totale(MVAR) est: 210.0000
Les Pertes Actives Totale(MW) est:                7.8748
Les Pertes Réactives Totale(MVAR) est:          -30.0626
Le Facteur de Puissance est:                      0.7710
*****
    
```

La solution Par Méthode Newton-Raphson:

Numéro d itérations = 4

TENSION ET PUISSANCE AU NIVEAU DE J.D.B

JdB N°	Tension		Puissance Génereé		Puissance Demandée	
	Module	Argument	MW	Mvar	MW	Mvar
1	1.0500	0.0000	107.8755	15.9562	0.0000	0.0000
2	1.0500	-3.6712	50.0000	74.3565	0.0000	0.0000
3	1.0700	-4.2733	60.0000	89.6268	0.0000	0.0000
4	0.9894	-4.1958	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
5	0.9854	-5.2764	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000
6	1.0044	-5.9475	0.0000	0.0000	70.0000	70.0000

PUISSANCES TRANSMISES ET PERETE AU NIVEAU DES LIGNES

N°	BRANCHES		Puissances transmises				Pertes	
	AU	DU	P(I J)	Q(I J)	P(J I)	Q(J I)	PL	QL
1	1	2	28.690	-15.419	-27.785	12.819	0.905	-2.600
2	1	4	43.585	20.120	-42.497	-19.933	1.088	0.188
3	1	5	35.601	11.255	-34.527	-13.450	1.074	-2.195
4	2	3	2.930	-12.269	-2.890	5.728	0.040	-6.541
5	2	4	33.091	46.054	-31.586	-45.125	1.505	0.929
6	2	5	15.515	15.353	-15.017	-18.007	0.498	-2.653
7	2	6	26.249	12.399	-25.666	-16.011	0.583	-3.612
8	3	5	19.117	23.174	-18.023	-26.095	1.094	-2.921
9	3	6	43.773	60.724	-42.770	-57.861	1.003	2.863
10	4	5	4.083	-4.942	-4.047	-2.785	0.036	-7.727
11	5	6	1.614	-9.663	-1.565	3.872	0.050	-5.791

```

*****
la puissance active générée Totale(MW) est:      217.8755
La puissance réactive générée Totale(MVAR) est:  179.9395
La Puissance active demandée Totale(MW) est:    210.0000
La puissance réactive demandée Totale(MVAR) est: 210.0000
Les Pertes Actives Totale(MW) est:                7.8755
Les Pertes Réactives Totale(MVAR) est:           -30.0605
Le Facteur de Puissance est:                      0.7710
*****

```

III-4-2 Résolution par Gauss-Seidel :

Power Flow Solution by Gauss-Seidel Method
No. of Iterations = 52

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.050	0.000	0.000	0.000	107.876	15.956	0.000
2	1.050	-3.671	0.000	0.000	50.000	74.357	0.000
3	1.070	-4.273	0.000	0.000	60.000	89.627	0.000
4	0.989	-4.196	70.000	70.000	0.000	0.000	0.000
5	0.985	-5.276	70.000	70.000	0.000	0.000	0.000
6	1.004	-5.947	70.000	70.000	0.000	0.000	0.000
Total			210.000	210.000	217.876	179.939	0.000

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
From	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1		107.876	15.956	109.049			
	2	28.690	-15.419	32.570	0.905	-2.600	
	4	43.585	20.120	48.005	1.088	0.188	
	5	35.601	11.255	37.337	1.074	-2.195	
2		50.000	74.357	89.604			
	1	-27.785	12.819	30.599	0.905	-2.600	
	3	2.930	-12.269	12.614	0.040	-6.541	
	4	33.091	46.054	56.710	1.505	0.929	
	5	15.514	15.353	21.827	0.498	-2.653	
	6	26.249	12.399	29.030	0.583	-3.612	
3		60.000	89.627	107.856			
	2	-2.890	5.728	6.416	0.040	-6.541	
	5	19.117	23.175	30.042	1.094	-2.921	
	6	43.773	60.724	74.857	1.003	2.863	
4		-70.000	-70.000	98.995			
	1	-42.497	-19.933	46.940	1.088	0.188	
	2	-31.586	-45.125	55.081	1.505	0.929	
	5	4.083	-4.942	6.411	0.036	-7.727	
5		-70.000	-70.000	98.995			
	1	-34.527	-13.450	37.054	1.074	-2.195	
	2	-15.016	-18.007	23.446	0.498	-2.653	
	3	-18.023	-26.095	31.714	1.094	-2.921	
	4	-4.047	-2.785	4.913	0.036	-7.727	
	6	1.614	-9.663	9.797	0.050	-5.791	
6		-70.000	-70.000	98.995			
	2	-25.666	-16.011	30.250	0.583	-3.612	
	3	-42.770	-57.861	71.952	1.003	2.863	
	5	-1.565	3.872	4.177	0.050	-5.791	
Total loss					7.875	-30.061	

III-4-3 Comparaison entre Gauss-Seidel et Newton-Raphson :

Le problème de l'écoulement de la puissance peut être donc résolu par la technique de Newton-Raphson qui converge avec une même vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts systèmes, au moins de 4 à 5 itérations en général. Par contre la convergence de la technique de Gauss-Seidel au moins 52 itérations en général. Donc la convergence de Newton-Raphson plus rapide que Gauss-Seidel

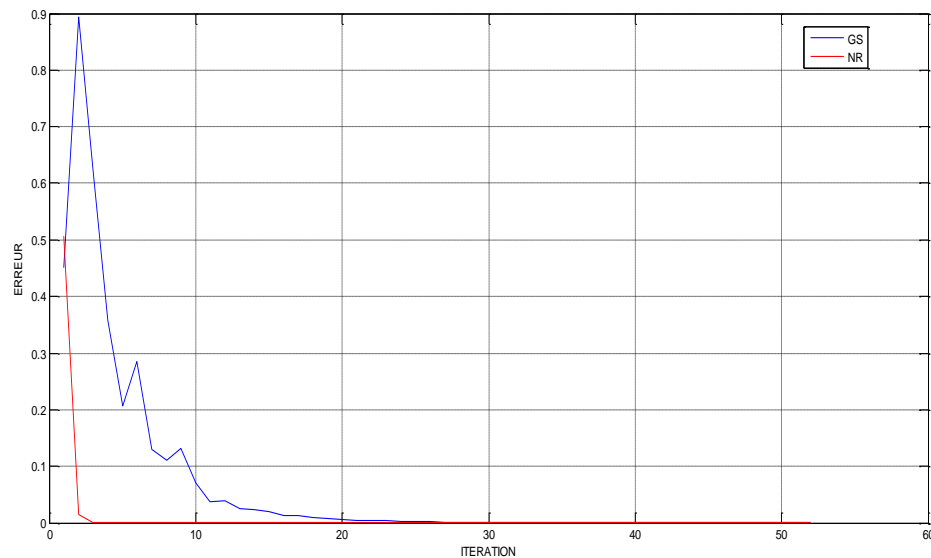


Figure (III-3) : Convergence de la méthode Gauss-Seidel et la Newton-Raphson

III-5 Influence d'une consommation excessive de réactif au bus 6 :

Si nous augmentons progressivement la charge connectée au bus 6, la chute de tension en ce nœud varie de la façon décrite sur la figure (III-4) suivante.

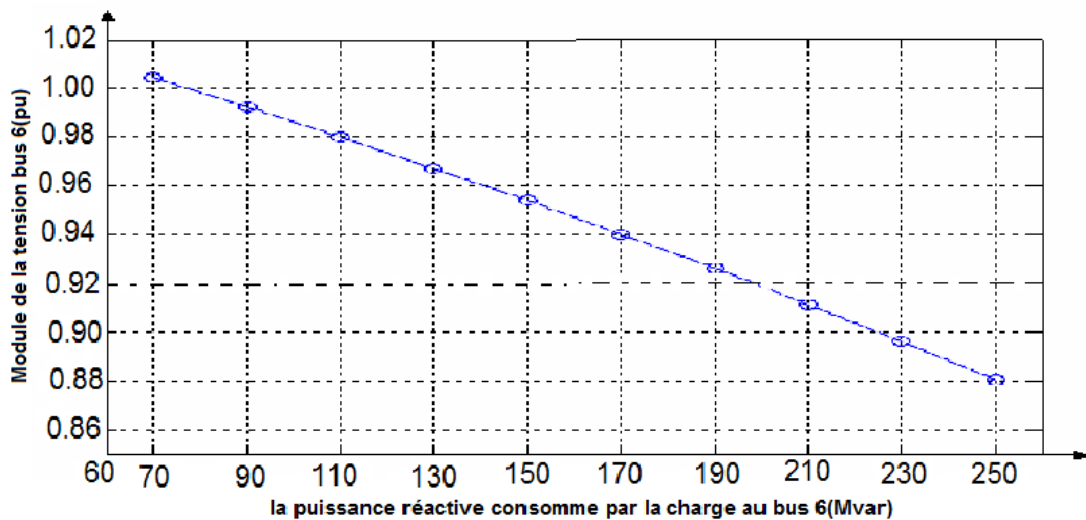


Figure (III-4) : Chute de tension sur le J.B 6

Le résultat obtenu sur cette la figure (III-4) confirme bien la théorie selon laquelle : l'absorption de puissance réactive en un nœud à pour effet de diminuer la tension en ce nœud.

Il faut savoir qu'une diminution de la tension en un nœud peut entraîner la diminution des tensions des nœuds voisins. Cette réduction excessive de la tension peut occasionner une instabilité de tension et provoquer le black-out local plus général.

III-6 But du banc de capacités :

Si nous augmentons la puissance des charges inductives pour différentes valeurs de la puissance réactive des bancs de capacités, nous obtenons la figure (III-5).

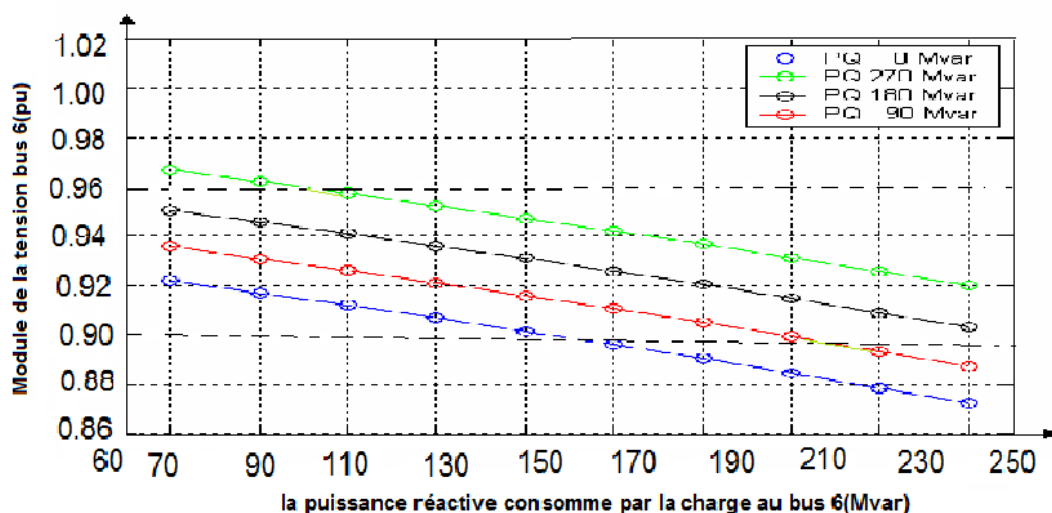


Figure (III-5) : Influence de la compensation la tension

La théorie est bien en accord avec les résultats obtenus avec le logiciel de calcul du load flow. Pour des charges fortement inductives, il faut injecter de la puissance réactive pour soutenir la tension. Cette puissance doit pouvoir être régulée car, pour des injections importantes (270 MVAR), la tension du jeu de barre 6 est prohibitive (1,0044 pu).

III-7 CONCLUSION :

Dans ce chapitre on a appliqué les deux méthodes de Newton-Raphson et Gauss-Seidel pour calculer l'écoulement de puissance dans deux réseaux électriques, 3 JdB et 6 JdB. D'après les résultats de simulation, on constate que la puissance active écoule du JdB à l'argument supérieur vers le JdB à l'argument inférieur.



CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Tout système énergétique doit remplir les trois fonctions essentielles de production, de transport, et de distribution, la distinction entre ces trois fonctions nous permet de comprendre le fonctionnement du réseau.

L'étude de l'écoulement de puissance dans un réseau électrique s'avère très importante pour avoir une exploitation économique et efficace des ressources de production et de distribution de l'énergie électrique.

Pour mieux effectuer cette analyse on doit réaliser les deux étapes suivantes :

- ❖ Formulation mathématique du problème c'est-à-dire la formulation des équations de l'écoulement de puissance qui sont des équations sous forme complexe et non linéaire.
- ❖ La résolution des équations d'écoulement de puissance qui consiste à choisir une méthode numérique pour la solution, le choix d'une méthode quelconque dépend de plusieurs critères tels que (la précision, la taille de réseau, etc....).

Parmi ces méthodes itératives, la méthode de Newton-Raphson est la plus utilisée à raison de leur performance excellente.

Dans notre projet nous avons appliqués les deux méthodes de Newton-Raphson et Gauss-Seidel pour l'obtention, de la solution des problèmes de l'écoulement de puissance. Cette application a été réalisée à l'aide d'un programme en MATLAB

On a remarqué que l'installation du condensateur shunt au niveau de J.d.B, entraîne une réduction des pertes de puissance, les chutes de tension et à une amélioration du facteur de puissance.



ANNEXE

A-1 Réseaux électrique à 3 jeux de barres :*Tableau A.1.1 :Données des lignes du réseau électrique à 3 J.d.B.*

Du J.D.B	Au J.D.B	r(pu)	x(pu)	N° branche
1	2	0.02	0.04	1
1	3	0.01	0.03	2
2	3	0.0125	0.025	3

Tableau A.1.2 :Données des jeux de barres du réseau électrique à 3 J.d.B.

N° J.D.B	V(pu)	θ (dégre)	Pg(MW)	Qg(MVAR)	Pd(MW)	Qd(MVAR)
1	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.00	0.00	0.00	400	250
3	1.04	0.00	200	0.00	0.00	0.00

A-2 Réseaux électrique à 6 jeux de barres :*Tableau A.2.1 :Données des lignes du réseau électrique à 6J.d.B.*

Du J.D.B	Au J.D.B	r(pu)	x(pu)	N° branche
1	2	0.10	0.20	1
1	4	0.05	0.20	2
1	5	0.08	0.30	3
2	3	0.05	0.25	4
2	4	0.05	0.10	5
2	5	0.10	0.30	6
2	6	0.07	0.20	7
3	5	0.12	0.26	8
3	6	0.02	0.10	9
4	5	0.20	0.40	10
5	6	0.10	0.30	11

Tableau A.2.2:Données des jeux de barres du réseau électrique à 6 J.d.B.

N° J.D.B	V(pu)	θ (dégre)	Pg(MW)	Qg(MVAR)	Pd(MW)	Qd(MVAR)
1	1.05	0.00	00.00	00.00	00.00	00.00
2	1.05	0.00	50.00	00.00	00.00	00.00
3	1.07	0.00	60.00	00.00	00.00	00.00
4	1.00	0.00	00.00	00.00	70.00	70.00
5	1.00	0.00	00.00	00.00	70.00	70.00
6	1.00	0.00	00.00	00.00	70.00	70.00

Le programme principale**(en Matlab)****Méthode Newton- Raphson**

DATA

affichage1

%%%%%%%%%%CALCULE LE MATRICE

D'ADMITANCE%%%%%%%%%

nj=length(bd(:,1));

nb=length(ld(:,1));

Ndb=ld(:,6);

njdb=bd(:,1);

n1=ld(:,1);

n2=ld(:,2);

R=ld(:,3);

X=ld(:,4);

sus=ld(:,5);

cap=capa(:,2);

for i=1:nj

y(i,i)=0;

for j=1:nj

if j~=i

y(i,j)=0;

for k=1:nb

if n1(k)==i & n2(k)==j | n1(k)==j & n2(k)==i

y(i,j)=-1/complex(R(k),X(k));

y(i,i)=y(i,i)-y(i,j)+complex(0,sus(k));

end

y(i,i)=y(i,i)+complex(0,cap(k));

end

end

end

```
end
va=bd(:,3);
vm=bd(:,2);
pd=bd(:,6);
qd=bd(:,7);
pg=bd(:,4);
qg=bd(:,5);
nat=bd(:,8);
for G=1:NI
for i=1:nj
va(i)=va(i)*pi/180;
v(i)=complex(vm(i)*cos(va(i)),vm(i)*sin(va(i)));
end
for i=1:nj
s(i)=0;
for j=1:nj
s(i)=s(i)+y(i,j)*v(j);
end
s(i)=s(i)*conj(v(i));
p(i)=real(s(i));
q(i)=-imag(s(i));
end
k2=nj;
k1=1;
for i=1:nj
if nat(i)==3
d(k1)=(pg(i)-pd(i))/sb-p(i);
d(k2)=(qg(i)-qd(i))/sb-q(i);
k1=k1+1;
k2=k2+1;
end
end
```

```
if nat(i)==2
d(k1)=(pg(i)-pd(i))/sb-p(i);
k1=k1+1;
end
end
njac=k2-1;
%%%%%%%%%% FORMATION DE LA MATRICE JAC
%%%%%%%%%%
i1=1;
i2=nj;
for i=1:nj
if nat(i)~=1
j1=1;
j2=nj;
for j=1:nj
if j~=i
if nat(j)==3
jac(i1,j1)=-abs(v(i)*v(j)*y(i,j))*sin(angle(y(i,j))-angle(v(i))+angle(v(j)));
jac(i1,j2)=abs(v(i)*y(i,j))*cos(angle(y(i,j))-angle(v(i))+angle(v(j)));
j1=j1+1;
j2=j2+1;
end
if nat(j)==2
jac(i1,j1)=-abs(v(i)*v(j)*y(i,j))*sin(angle(y(i,j))-angle(v(i))+angle(v(j)));
j1=j1+1;
end
else
if nat(j)==3
jac(i1,j1)=0;
jac(i1,j2)=2*abs(v(i)*y(i,j))*cos(angle(y(i,j)));
for k=1:nj
```

```
if k~=i
jac(i1,j1)=jac(i1,j1)+abs(v(i)*v(k)*y(i,k))*sin(angle(y(i,k))-angle(v(i))+angle(v(k)));
jac(i1,j2)=jac(i1,j2)+abs(v(k)*y(i,k))*cos(angle(y(i,k))-angle(v(i))+angle(v(k)));
end
end
j1=j1+1;
j2=j2+1;
end
if nat(j)==2
jac(i1,j1)=0;
for k=1:nj
if k~=i
jac(i1,j1)=jac(i1,j1)+abs(v(i)*v(k)*y(i,k))*sin(angle(y(i,k))-angle(v(i))+angle(v(k)));
end
end
j1=j1+1;
end
end
end
i1=i1+1;
end
if nat(i)==3
j3=1;
j4=nj;
for j=1:nj
if j~=i
if nat(j)==3
jac(i2,j3)=-abs(v(i)*v(j)*y(i,j))*cos(angle(y(i,j))-angle(v(i))+angle(v(j)));
jac(i2,j4)=-abs(v(i)*y(i,j))*sin(angle(y(i,j))-angle(v(i))+angle(v(j)));
j3=j3+1;
j4=j4+1;
```

```
end
if nat(j)==2
jac(i2,j3)=-abs(v(i)*v(j)*y(i,j))*cos(angle(y(i,j))-angle(v(i))+angle(v(j)));
j3=j3+1;
end
else
if nat(j)==3
jac(i2,j3)=0;
jac(i2,j4)=-2*abs(v(i)*y(i,j))*sin(angle(y(i,j)));
for k=1:nj
if k~=i
jac(i2,j3)=jac(i2,j3)+abs(v(i)*v(k)*y(i,k))*cos(angle(y(i,k))-angle(v(i))+angle(v(k)));
jac(i2,j4)=jac(i2,j4)-abs(v(k)*y(i,k))*sin(angle(y(i,k))-angle(v(i))+angle(v(k)));
end
end
j3=j3+1;
j4=j4+1;
end
if nat(j)==2
jac(i2,j3)=0;
for k=1:nj
if k~=i
jac(i2,j3)=jac(i2,j3)-abs(v(i)*v(k)*y(i,k))*cos(angle(y(i,k))-angle(v(i))+angle(v(k)));
end
end
j3=j3+1;
end
end
end
i2=i2+1;
end
```



```

%%%%%%%% CALCULE LA PUISSANCE TOTALE GENEREE
[PGtot],[QGtot]%%%%%%%%
%%%%%%%% CALCULE LA PUISSANCE TOTALE DOMANDEE
[PDtot],[QDtot]%%%%%%%%
pgtot=0;
qgtot=0;
pdtot=0;
qdtot=0;
for i=1:nj
if nat(i)==1
pg(i)=p(i)*sb+pd(i);
qg(i)=q(i)*sb+qd(i);
end
if nat(i)==2
qg(i)=q(i)*sb+qd(i);
end
pgtot=pgtot+pg(i);
qgtot=qgtot+qg(i);
pdtot=pdtot+pd(i);
qdtot=qdtot+qd(i);
f=pgtot/sqrt(pgtot^2+qgtot^2);
end
%%%%%%%% LES PUISSANCE TRANSITEES ET LES PERTES DANS LES LIGNES
%%%%%%%%
pltot=0;
qltot=0;
for i=1:nb
s1=(conj(v(n1(i)))*(v(n1(i))-
v(n2(i)))/complex(R(i),X(i))+((vm(n1(i)))^2)*complex(0,sus(i)))*sb;
s2=(conj(v(n2(i)))*(v(n2(i))-
v(n1(i)))/complex(R(i),X(i))+((vm(n2(i)))^2)*complex(0,sus(i)))*sb;

```

```
pij(i)=real(s1);  
pji(i)=real(s2);  
qij(i)=-imag(s1);  
qji(i)=-imag(s2);  
pl(i)=pij(i)+pji(i);  
ql(i)=qij(i)+qji(i);  
pltot=pltot+pl(i);  
qltot=qltot+ql(i);  
end
```

```
affichage  
UU=abs(d);  
Z=TS/sb;  
aa= max(UU)  
if max(UU)<=Z  
affichage  
break  
end  
end
```

Méthode Gauss-Seidel

```

% Power flow solution by Gauss-Seidel method
% Copyright (c) 1998 by H. Saadat
Vm=0; delta=0; yload=0; deltad =0;
nbus = length(busdata(:,1));
for k=1:nbus
n=busdata(k,1);
kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k, 4);
Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7); Qg(n) = busdata(k,8);
Qmin(n)=busdata(k, 9); Qmax(n)=busdata(k, 10);
Qsh(n)=busdata(k, 11);
if Vm(n) <= 0 Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
else delta(n) = pi/180*delta(n);
V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva;
Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva;
S(n) = P(n) + j*Q(n);
end
DV(n)=0;
end
num = 0; AcurBus = 0; converge = 1;
Vc = zeros(nbus,1)+j*zeros(nbus,1); Sc = zeros(nbus,1)+j*zeros(nbus,1);
while exist('accel')~=1
accel = 1.3;
end
while exist('accuracy')~=1
accuracy = 0.001;
end
while exist('basemva')~=1
basemva= 100;
end
end

```

```

while exist('maxiter')~=1
maxiter = 100;
end
iter=0;
maxerror=10;
while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter
iter=iter+1;
for n = 1:nbus;
YV = 0+j*0;
for L = 1:nbr;
if nl(L) == n, k=nr(L);
YV = YV + Ybus(n,k)*V(k);
elseif nr(L) == n, k=nl(L);
YV = YV + Ybus(n,k)*V(k);
end
end
Sc = conj(V(n))*(Ybus(n,n)*V(n) + YV) ;
Sc = conj(Sc);
DP(n) = P(n) - real(Sc);
DQ(n) = Q(n) - imag(Sc);
if kb(n) == 1
S(n) =Sc; P(n) = real(Sc); Q(n) = imag(Sc); DP(n) =0; DQ(n)=0;
Vc(n) = V(n);
elseif kb(n) == 2
Q(n) = imag(Sc); S(n) = P(n) + j*Q(n)
if Qmax(n) ~= 0
Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
if abs(DQ(n)) <= .005 & iter >= 10 % After 10 iterations
if DV(n) <= 0.045 % the Mvar of generator buses are
if Qgc < Qmin(n), % tested. If not within limits Vm(n)
Vm(n) = Vm(n) + 0.005; % is changed in steps of 0.005 pu

```

```

DV(n) = DV(n)+.005;      % up to .05 pu in order to bring
elseif Qgc > Qmax(n),    % the generator Mvar within the
Vm(n) = Vm(n) - 0.005;   % specified limits.
DV(n)=DV(n)+.005; end
else, end
else,end
else,end
end
if kb(n) ~= 1
Vc(n) = (conj(S(n))/conj(V(n)) - YV )/ Ybus(n,n);
else, end
if kb(n) == 0
V(n) = V(n) + accel*(Vc(n)-V(n));
elseif kb(n) == 2
VcI = imag(Vc(n));
VcR = sqrt(Vm(n)^2 - VcI^2);
Vc(n) = VcR + j*VcI;
V(n) = V(n) + accel*(Vc(n) -V(n));
end
end
maxerror=max( max(abs(real(DP))), max(abs(imag(DQ))) )
aaa(iter)=(maxerror)
if iter == maxiter & maxerror > accuracy
fprintf('\nWARNING: Iterative solution did not converged after ')
fprintf('%g', iter), fprintf(' iterations.\n\n')
fprintf('Press Enter to terminate the iterations and print the results \n')
converge = 0; pause, else, end
end
if converge ~= 1
tech= ('          ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE'); else,
tech=('          Power Flow Solution by Gauss-Seidel Method');

```

```
end
k=0;
for n = 1:nbus
Vm(n) = abs(V(n)); deltad(n) = angle(V(n))*180/pi;
if kb(n) == 1
S(n)=P(n)+j*Q(n);
Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
k=k+1;
Pgg(k)=Pg(n);
elseif kb(n) ==2
k=k+1;
Pgg(k)=Pg(n);
S(n)=P(n)+j*Q(n);
Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
end
yload(n) = (Pd(n)- j*Qd(n)+j*Qsh(n))/(basemva*Vm(n)^2);
end
Pgt = sum(Pg); Qgt = sum(Qg); Pdt = sum(Pd); Qdt = sum(Qd); Qsht = sum(Qsh);
busdata(:,3)=Vm'; busdata(:,4)=deltad';
%clear AcurBus DP DQ DV L Sc Vc VcI VcR YV converge delta
```

Liste des références :

[01] : HAIMOUR Rachida.((Contrôle des Puissances Réactives et des Tensions par les Dispositifs FACTS dans un Réseau Electrique)) mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en électrotechnique, Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran.

[02] : Z. F. Fethi et G. Abdelmalek et D. Mohammed ,«L'application de la Méthode Newton-Raphson à L'écoulement de Puissance Dans Le Système Electrique». Mémoire de fin d'étude université EL-OUDE promotion (2007) .

[03] : Gacem Abdelmalek ((Utilisation des Méthodes d'Optimisations Méta heuristiques Pour La Résolution Du Problème De Répartition Optimale De La Puissance Dans les Réseaux Electriques)) mémoire présenté pour obtenir le diplôme de magister en électrotechnique (2010).

[04] : Mémoire « la répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle de tension de barre d'un réseaux électrique par simplex Lp » Ahmed Diarra, université du Québec 1984.

[05] : Computer methods in power system analysis (chapter 08), ALLEN W.stagg, Ahmed EL-Abier, International Student Edition.

[06]: Mnsouri Dris. Gummoudi Mohammed, Ferhat Abdel Hamid. «Calcul de d'écoulement de puissance par la méthode GAUSS-SEIDEL» , Mémoire de fin d'étude Université de Biskra (promotion 1996).

[07] : Oussama Mammeri. << différentes méthodes de calcul de la puissance réactive dans une noeud a charge non linéaire en présence d'un système de compensation de l'énergie >>. Mémoire de Magister Université de Batna (promotion 2012).

[08] : Rabah Benabid((optimisation multi objectif de la synthèse des FACTS par les particules en essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques)) mémoire de magister en électrotechnique , Université Amar Telidji, Laghouat (2007).