

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



**Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux électriques

**Calcul de la répartition optimale de puissance active dans un
réseau électrique**

Présenté par : HAMDI HAMZA
BOULKAIBET FATIMA

Sous la direction de : Mr GOUAIDIA SAID

JUIN 2011





REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu Dieu de m'avoir donné la force et la patience de terminer ce travail, je souhaiterais adresser aussi mes vifs remerciements à certaines personnes qui m'ont aidé au cours de ces deux dernières années.

_ Je voudrais remercier très chaleureusement mon encadreur « MR Gouaidia Said » qui a été à mon cotés tout au long de cette étude et qui nous a fait bénéficier de son savoir.

Je tiens également à remercier monsieur « Bonaya Kamel »

*Pour l'aide précieuse qu'il m'a apporté pendant mes études et la préparation
De ce mémoire*

*_ Mes remerciements les plus sincères s'adressent à tous les enseignants et
personnelles du Département de ELECTROTECHNIQUE*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail particulièrement :

A ma mère Elatra, A celle qui a tout souffert, sans me faire souffrir, Qu'elle trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous les sacrifices, l'extrême amour et la bonté, Qu'elle m'a offert pour me voir réussir.

A mon père Salah, A l'homme que je dois ma réussite, mon bonheur, et tout le respect ; Qu'il trouve ici l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi.

A tous mes frères sans exception, surtout : Seyfeddine, ferielle.

*A toute ma famille sans exception
Ainsi que mes oncles et tantes.*

*A notre encadreur Mr. Gouaydia Said et tous mes
enseignants;*

A ma chère amie Fatima

A toute ma promotion de système électrotechnique 2011;

A toutes les promotions lesquelles j'ai rencontré;

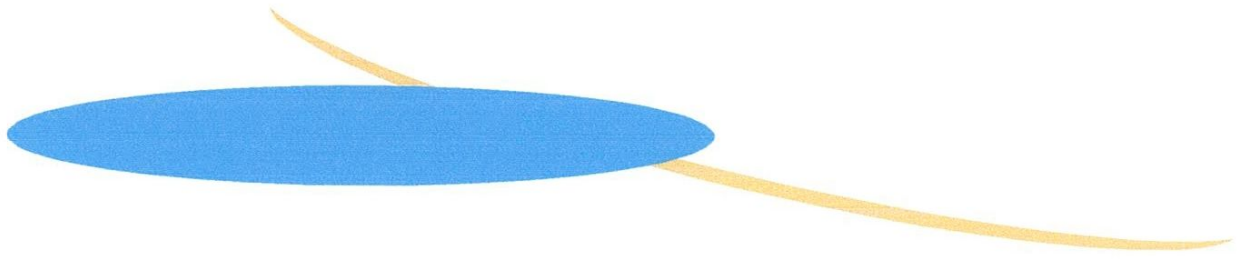
A tous ceux qui m'aiment; et tous ceux que j'aime

A tous mes amis sans exception, surtout :

Elmarhoum Hicham, Adel, Mahdi, hamza, Khaled, Khairi,

Ramzi, Amar, Zarroug, Hakou, Salah,

Hamza



Sommaire



SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I Analyse de la Répartition de Puissance

I.1. Introduction.....	2
I.2. Formulation du Modèle du Réseau	2
I.2.1. Formulation Mathématique.....	2
I.2.2. Classification des Jeux de Barres.....	3
I.2.3. Signe de Puissance Active et Réactive.....	3
I.3. La Matrice Admittance.....	4
I.3.1. Modélisation de système à deux jeux de barres.....	4
I.3.2. Formation de la matrice admittance.....	7
I.4. Développement de l'équation de l'écoulement de puissance	9

Chapitre II Méthodes Itératives.

II. Les Méthodes Itératives.....	12
II. 1. Introduction	12
II.2.Méthode de Gauss-Seidel	12
II.2.1. Algorithme de Gauss-Seidel.....	13
II.2.2. Méthode de Gauss-Seidel Appliquée a L'E.P.C (en utilisant	13
la matrice admittance)	
II.2.3. Algorithme de la Méthode de Gauss - Seidel	15
II.2.4. Organigramme de Gauss-Seidel Utilisant la Matrice Admittance.....	16

II.3. Méthode Newton-Raphson	17
II.3.1. Principe.....	17
a) Dans le cas d'un scalaire	17
b) Dans le cas des multi variables.....	18
II.3.2. Application de la méthode de Newton-Raphson pour	19
résoudre le problème de l'écoulement de puissance	
II.3.3 Remarques.....	23
II.3.4. Organigramme de la Méthode de Newton-Raphson.....	24
II.4. Méthodes découplées	25
II.5. Application sur un réseau de vent six nœuds	26
a. Schéma de base du réseau	27
b. Données du réseau.....	27
c. Impédance de la lignes et admittance ces shunts.....	28
II.6. Résultats de calcul de l'écoulement de puissance	29
a) Résultats après excitation en MATL.....	29
b) Les puissances de lignes et les pertes.....	31
Conclusion	33

Chapitre.III Répartition Economique de Puissance Active.

III. Répartition Economique	34
III.1. Répartition Economique de Puissance Active	34
III.2. La Fonction du Coût	34
III.3. Dispatching Economique Sans Pertes	35
III.4. Dispatching Economique Avec Pertes	35
III.5. Dispatching Economique de la Puissance Réactive	35
III.6. L'action des Contraintes	36

III.6.1. Les Contraintes du Type Egalité.....	36
III.6.2. Les Contraintes de Type Inégalité.....	36
III.7. Application Sur Réseau à (26) Nœuds.....	37
III.7.1. Détermination de Coût sans Répartition Optimale.....	38
III.7.2. Détermination Des Puissances Optimales.....	39
a)Premier Cas: Optimisation Sans Perte.....	39
b)Deuxième Cas : Optimisation Avec Pertes.....	40
Conclusion.....	47
Conclusion générale.....	48

Introduction Générale

L'énergie électrique est le critère le plus significatif dans le développement et la croissance de tous les secteurs économiques aussi elle joue le rôle principale et élémentaire de la modernisation du secteur industrie qui consomme la plus grande partie de cette énergie produite.

Electricité a augmenté et progressé considérablement ce qui a nécessité l'élaboration de nouvelles techniques pour le contrôle parfait, la gestion efficace et l'exploitation économique des moyens de production de transport et de distribution de cette énergie.

L'exploitation du grand développement domaine informatique et l'apparition des nouvelles générations d'ordinateurs plus rapides et plus puissants, a conduit à une étude plus profonde et un calcul plus précis et rigoureux du réseau électrique.

L'étude de l'écoulement de puissance qui consiste à coordonner l'exploitation de toutes les sources d'énergie et la répartition de la production entre les différents utilisateurs, et cela dans le but d'avoir une exploitation économique conduisant à une meilleure utilisation de ces sources.

Ce travail la mémoire comporte deux parties :

- ✓ Le premier portier an l'étude de la répartition des puissances en utilisant des méthodes itératives de calculs tel que les méthodes de Gauss-Seidel et Newton – Rafeson et la méthode découplée.
- ✓ La deuxième partie concerne d'étude réside dans le contrôle de répartition économique de puissance active générée par les unités de production.



CHAPITRE I

*Analyse de la Répartition de
Puissance*

Chapitre.I

Analyse de la Répartition de Puissance.

I.1. Introduction

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à calculer la répartition des puissances actives et réactives, les tensions (amplitudes et phases) du réseau pour les extrémités spécifiées et des conditions données aux jeux de barres, et les pertes de puissance active et réactive dans les lignes de transport. Ce calcul est à l'état normal ou dans des conditions l'exploitation critiques.

Les informations obtenues de l'écoulement de puissances sont utilisées d'un part, pour tester la capacité du système à transférer l'énergie électrique des unités de génération vers les charges sans surcharger les lignes de transport, et pour déterminer le réglage adéquat des tensions des compensateurs shunts et les transformateurs menus de prises de charges, d'autre part.

I.2. Formulation du Modèle du Réseau**I.2.1. Formulation Mathématique**

Puisque les systèmes de puissance sont souvent équilibrés, une représentation unifilaire du réseau est adéquate pour la résolution du problème de l'écoulement de puissance. À chaque jeu de barre sont associées quatre grandeurs : la puissance active, la puissance réactive, le module de tension et l'angle de phase.

La tension et la puissance au niveau d'un jeu de barre i sont exprimées, respectivement, comme suit :

$$U_i = V_i(\cos \theta_i + j \sin \theta_i) \dots\dots\dots(1-1).$$

$$S_i = P_i + j\varphi_i \dots\dots\dots(1-2).$$

V_i : L'amplitude tension.

S_i : La puissance apparente.

φ_i : La puissance réactive.

θ_i : L'angle de phase.

P_i : La puissance active.

I.2.2. Classification des Jeux de Barres

Il existe trois types de jeu de barre (J - b).

1. Le jeu de barre balancier

C'est un jeu de barre connecté à une source de tension. Sa tension est considérée constante et son angle de phases est pris comme référence. Ses puissances active et réactive doivent être calculées pour compenser les pertes dans les lignes.

Le jeu de barre balancier est choisi parmi les jeux de barres de générations dont la puissance active est la plus importante.

2. Le Jeu de Barre de Génération

Ayant les valeurs de puissance active et le module de tension spécifiée.

3. Le jeu de barre de charge

Ayant la valeur de puissances actives et réactives spécifiées .

Tableau. 1: Présentation Des Différents Jeux de Barres D'un Réseau Electrique.

Type de jeu de barre	Grandeurs connues	Grandeurs inconnue
Bilan	$ V = 1.0, \vartheta = 0^\circ$	P, φ
Générateur (R)	$P, V $	φ, ϑ
Charge (P, φ)	P, φ	$ V , \vartheta$

I.2.3. Signe de Puissance Active et Réactive

Les puissances actives et réactives pour les jeux de barres de générations sont en général de signe positif .quant aux jeux de barres de charges ces puissance sont de signe négatif. Cependant il faut tenir compte des remarques présentées dans le tableau suivant.

Tableau. 2 : Signe de Puissance Active et Réactive.

	Puissance active P	Puissance réactive Q
J-b PQ Inductive	-	-
J-b PQ Capacitive	-	+
J-b PV Inductive	+	+
J-b PV Capacitive	+	-
J-b d'un compensateur local capacitif shunté	/	+

I.3. La Matrice Admittance

Pour résoudre le problème de la répartition des puissances, il faut connaître la configuration du réseau qui est représenté soit par la matrice impédance ou la matrice admittance. Cette dernière étant creuse est souvent utilisée.

La matrice admittance d'un réseau de n jeux de barres est une matrice complexe carrée symétrique d'ordre « n », chaque élément Y_{ki} en dehors de la diagonale est l'opposé de l'admittance de la branche entre les nœuds « k » et « i », et chaque élément de la diagonale Y_{kk} est la somme de toutes les admittances des branches liées au jeu de barre « k »

Dans le calcul des éléments de la matrice; on doit tenir compte des effets des éléments shuntés à la terre (les condensateurs, les inductances, les linges de charge et les éléments shunts des transformateurs) .

I.3.1. Modélisation de système à deux jeux de barres

Soit le système de la figure :

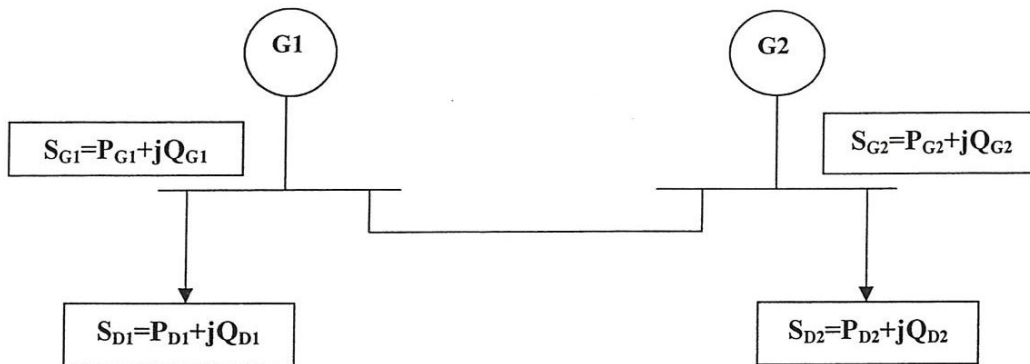


Figure.3 : Schéma D'un Système à Deux Jeux De Barre.

Ce réseau est composé de deux jeux de barres S_{G1} et S_{G2} qui sont des puissances injectées respectivement aux jeux de barres (1) et (2), elles sont générées par G_1 et G_2 .

Les deux jeux de barres sont interconnectés par une ligne de transmission ayant :

- ✓ Deux admittances parallèles Y_p .
- ✓ Une admittance série Y_s .

V_1, V_2 : Les tensions au jeux de barres (1) et (2).

S_{D1}, S_{D2} Les puissances demandées respectivement aux jeux de barres (1) et (2).

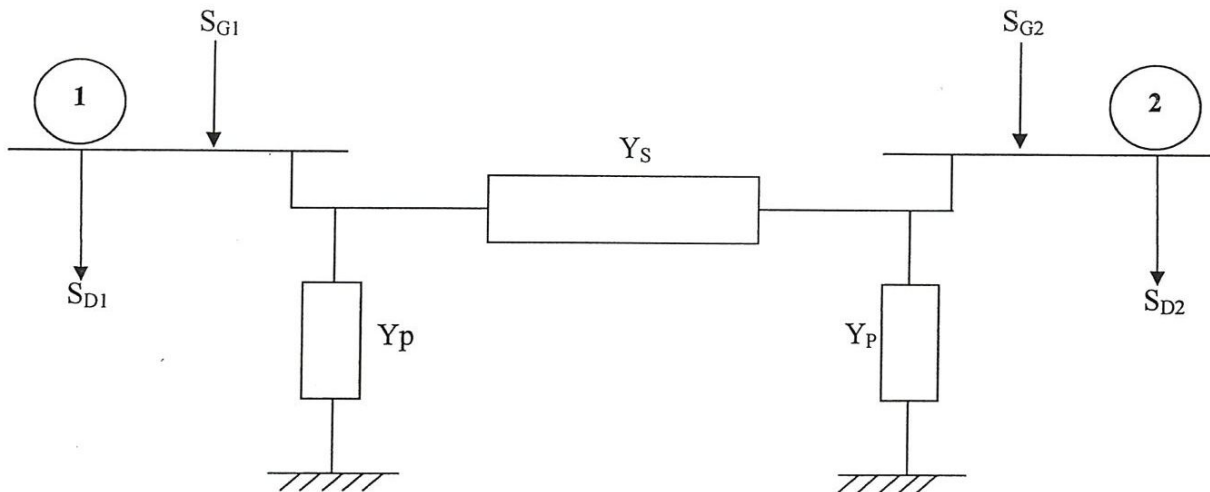


Figure.4 : Schéma Equivalent.

Tel que : $S_{G1} > S_{G2}$

Donc il y'a des pertes aux niveaux des jeux de barres.

$$\begin{cases} S_1 = S_{G1} - S_{D1} \\ S_2 = S_{G2} - S_{D2} \end{cases} \dots\dots\dots(1.3).$$

Pour un jeu de barre quelconque (i) tel que $i=1,2,\dots\dots\dots n$;on a :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} \dots\dots\dots(1.4).$$

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

$$S_i = (P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \dots\dots\dots(1.5).$$

Le schéma équivalent d'un système à deux jeux de barres peut être représenté comme suit :

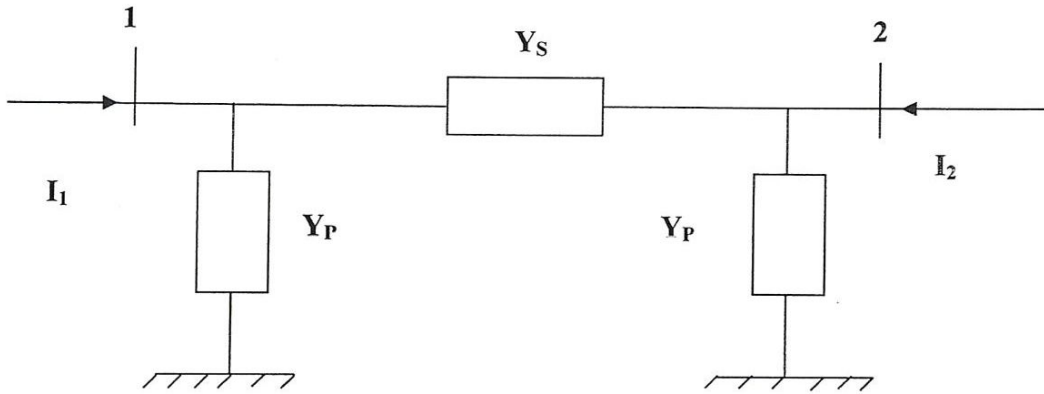


Figure.5 : Schéma Equivalent D'un Système à Deux (JB).

On peut écrire les équations suivantes :

➤ **Pour le Jeu de Barre (1) :**

$$S_1 = V_1 I_1^* \dots \dots \dots (1.6).$$

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V_1^*} = Y_P V_1 + (V_1 - V_2) Y_S = (Y_P + Y_S) V_1 - Y_S V_2 \dots \dots \dots (1.7).$$

➤ **Pour le Jeu de Barre (2) :**

$$I_2 = \frac{S_2^*}{V_2^*} = Y_P V_2 + (V_2 - V_1) Y_S = (Y_P + Y_S) V_2 - Y_S V_1 \dots \dots \dots (1.8).$$

Alors I_1 et I_2 sont écrits comme suit :

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 \\ I_2 = -Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 \dots \dots \dots (1.9). \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} Y_{11} = Y_P + Y_S \\ Y_{12} = Y_{21} = -Y_S \\ Y_{22} = Y_P + Y_S \dots \dots \dots (1.10). \end{cases}$$

Et sous la forme matricielle on écrit :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1.11).$$

Les éléments de la matrice admittance :

$$Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}$$

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1.12).$$

I.3.2. Formation de la matrice admittance

Le nombre de nœud d'un système de 0,.....,n.

Le nombre 0 représente le nœud de référence (terre).

Remplacer tous les générateurs par leurs sources de courants équivalentes .

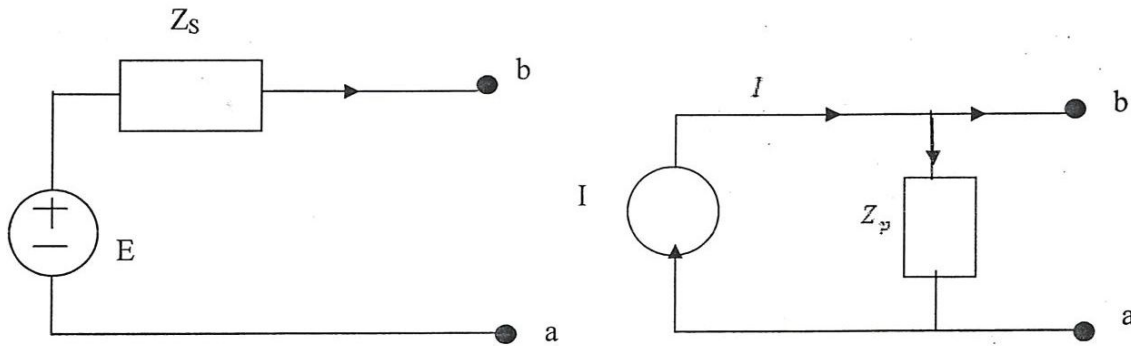


Figure.6 :transformation des sources.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= E_g - Z_s I_a \\ V_{ab} &= I_p Z_p = (I - I_a) Z_p \\ &= I Z_p - I_a Z_p \end{aligned}$$

$$E_g - Z_s I_a = Z_p I - Z_p I_a$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E_g = Z_p I \\ Z_s I_a = Z_p I_a \end{cases} \dots \dots \dots (1.13).$$

$$\Rightarrow Z_s = Z_p$$

$$I = \frac{E_g}{Z_s} \dots \dots \dots (1.14).$$

Ou :

$$I = \frac{E_g}{Z_p} \dots \dots \dots (1.15).$$

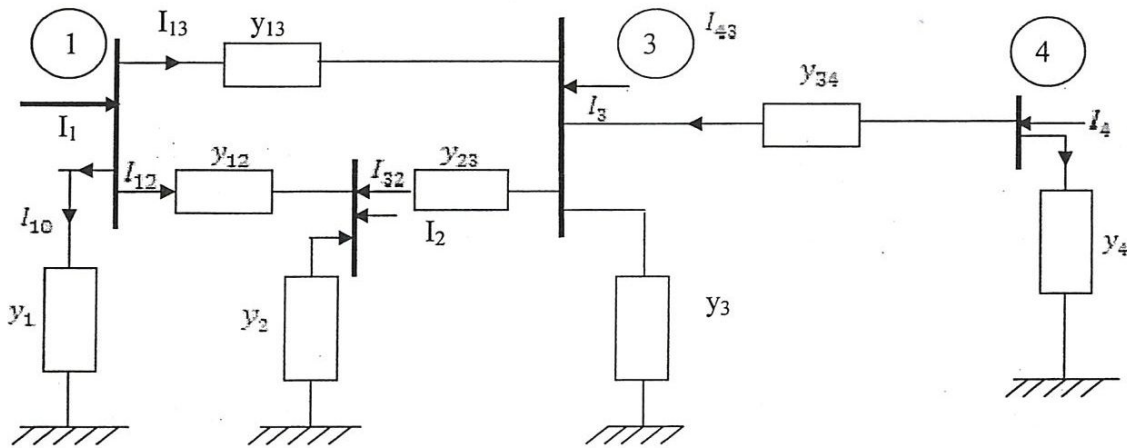


Figure.7 : Système Equivalent à quatre de barres.

Loi de KIRCHOFF

$$I_1 = (V_1 - V_3)y_{13} + (V_1 - V_2)y_{12} + V_1 y_1$$

$$I_2 = V_1(-y_{12}) + V_2(y_2 + y_{12} + y_{13}) + V_3(-y_{23})$$

$$I_3 = V_1(-y_{13}) + V_2(-y_{23}) + V_3(y_3 + y_{32} + y_{31} + y_{34}) + V_4(-y_{34})$$

$$I_4 = V_4 y_4 + (V_4 - V_3)y_{34} = -V_3 y_{34}$$

Sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 + y_{12} + y_{13} & -y_2 & -y_{13} & 0 \\ -y_{12} & y_2 + y_{21} + y_{23} & -y_{23} & 0 \\ -y_{13} & -y_{23} & y_3 + y_{31} + y_{32} + y_{34} & -y_{34} \\ 0 & 0 & -y_{34} & y_4 + y_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

$$[Y][V] = [I] \dots\dots\dots(1.16).$$

[y] : matrice admittance

[V] : vecteur tension

[I] : vecteur courant

I.4. développement de l'équation de l'écoulement de puissance

La puissance complexe injectée par la source du jeu de barre i du réseau est en unité relative :

$$S_i = P_i + j\phi_i = V_i \hat{I}_i, i = 1,2,3 \dots\dots\dots n \dots\dots\dots(1.17).$$

Avec :

I_i est le courant injecté au jeu de barre.

On utilise le calcul avec les courants. Mieux qu'avec leurs conjugués I*_i, pour cela prenant le conjugué de la formule (1.17) On aura :

$$\hat{S}_i = P_i - j\phi_i = \hat{V}_i I_i, i = 1,2,3 \dots\dots\dots n \dots\dots\dots(1.18).$$

On a :

$$I_i = \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \dots\dots\dots(1.19).$$

Donc en remplaçant dans (1-18) on aura :

$$P_i - j\phi_i = V_i^* \sum_k^n Y_{ik} V_k, i = 1.2.3.....n.....(1.20).$$

Faisant l'égalité des parties réelles et imaginaires.

$$P_i \text{ (puissance active)} = R_e \left\{ V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \right\}.....(1.21).$$

$$Q_i \text{ (puissance réactive)} = -I_m \left\{ V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \right\}.....(1.22).$$

Dans la formule polaire on a :

$$V_i = |V_i| e^{j\delta_i}$$

$$Y_{ik} = |Y_{ik}| e^{j\delta_{ik}}$$

Alors les puissances actives et réactives seront exprimées comme suit :

$$P_i = |V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \cos |Y_{ik} + \delta_k - \delta_i|; i = 1.2.3.....n..... (1.23).$$

$$Q_i = -|V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \sin |Y_{ik} + \delta_k - \delta_i|; i = 1.2.3.....n..... (1.24).$$

Remarques

- 1- Pour un réseau de deux jeux de barres on a quatre équation représentant le fonctionnement du réseau.
- 2- Les équations (1.23) et (1.24) sont des équations algébriques non linéaires, on ne peut pas le résoudre analytiquement, donc on doit les résoudre par ordinateur en utilisant des méthodes numériques.
- 3- Equation des puissances actives donne :

$$PG_1 + PG_2 = P_{D1} + P_{D2} + F_{P1} + F_{P2}$$

$$\sum P_{généérées} = \sum P_{demandée} + \sum P(\text{pertes})$$

- 4- Equation des puissances réactives donne :

$$Q_{G1} + Q_{G2} = Q_{D1} + Q_{D2} + F_{q1} + F_{q2}$$

- 5- Les fonctions : $F_{p1} + F_{p2} + F_{q1} + F_{q2}$ sont fonctions des tensions.
- 6- Les valeurs des éléments de la matrice admittance sont constantes
- 7- Les équation (1.23) et (1.24) représentent(n) équations de la répartition de puissance pour n jeux barre est caractérisé par quatre variables.

Les systèmes d'équation du (1.23) , (1.24) ne peut être résolue que si les autres (2n) variables sont spécifiées.

En pratique pour chaque jeu de barre deux des quatre variables sont connus (voir type de barre).

Donc : On aura enfin un système à (2 n) équation et à (2n) variables, la solution directe est impossible puisque le system est non linéaire.

Donc il est indispensable de faire recours aux méthodes itératives.

The page features a decorative graphic consisting of three overlapping circles in shades of blue, arranged vertically. Two thin, light blue lines intersect at a point to the left of the circles, forming a V-shape that frames them. The circles are positioned in the upper right and lower right areas of the page.

CHAPITRE II

Méthodes Itératives

Chapitre.II**Méthodes Itératives.****II. Les Méthodes Itératives****II. 1. Introduction**

Les méthodes utilisées pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance sont des méthodes itératives appliquées à un système d'équations algébriques, non linéaires de grande dimension.

En général il y'a deux méthodes qui sont les plus utilisées dans le domaine de l'écoulement de puissance sont la méthode de Newton-Raphson et celle de Gauss-Seidel une partie non négligeable du travail consistera à choisir la méthode la mieux adaptée « adapté » pour résoudre chaque un des problèmes élémentaires.

Le choix de la méthode va influencer sur :

- ❖ la convergence (risque de ne pas obtenir de solution).
- ❖ La rapidité des résultats.
- ❖ Précision du résultat.
- ❖ La facilité d'écriture du programme.

La rapidité de convergence dans ces méthodes est une importance primordiale, l'utilisation de ces méthodes dans le contrôle automatique des systèmes d'énergie nécessitant l'obtention très rapide des solutions de la répartition des puissances.

II.2.Méthode de Gauss-Seidel

La méthode itérative de Gauss-Seidel est la plus simple des méthodes itératives utilisées dans l'écoulement de puissance.

Elle est facile à programmer notamment dans le cas des petits systèmes électro-énergétiques, où la simplicité du programme est plus importante que les coûts de calculs. Elle est aussi utilisée dans le grand système pour obtenir les points de solutions initiales qui seront utilisés dans le programme de Newton-Raphson.

II.2.1. Algorithme de Gauss-Seidel

Soit à résoudre le système d'équation d'ordre n suivant :

$$F(x) = 0 \dots\dots\dots (2.1).$$

Avec :

$$F^t = [f_1, f_2, f_3 \dots\dots\dots, f_n]$$

$$X^t = [x_1, x_2, x_3 \dots\dots\dots, x_n] \dots\dots\dots (2.2).$$

✓ Pour trouver l'algorithme de Gauss-Seidel la fonction f(x) doit être sous la forme itérative $x = f(x)$. On fixe initialement un vecteur x_0 tel que :

$$x^1 = f(x^0), x^2 = f(x^1), etc .$$

Et à la fin de chaque itération, on teste la condition :

$$|x^{k+1} - x^k| \leq \xi \dots\dots\dots (2.3).$$

Ou : **K** est numéro d'itération.

Et ξ = la précision.

On arrête les calculs une fois la condition (2.3) est vérifiée.

II.2.2. Méthode de Gauss-Seidel Appliquée a L'E.P.C (en utilisant la matrice admittance)

Soit le vecteur courant à injecter dans tous les jeux de barre du réseau électrique exprimé en fonctions du vecteur de tension comme suit :

$$[I] = [Y] [V] \dots\dots\dots (2.4).$$

La tension de jeu de barre **i** pour l'itération (**k+1**) peut être déterminée par :

$$v_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{i,i}} \left(I_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{i,j} v_j^k \right) \text{ pour } i= 1, \dots, n; i \neq nref$$

Avec : $I_i = \frac{P_i - jQ_i}{v_i^*}$ (2.5).

✓ Pour minimiser le temps de calcul on doit procéder à un calcul préalable d'un certain nombre d'opérations arithmétiques, pour cela on pose :

$$\frac{1}{Y_{i,i}} = L_i \text{(2.6).}$$

Et

$$(P_i - jQ_i)L_i = KL_i \text{(2.7).}$$

$$Y_{i,j}L_i = YL_{i,j}$$

La tension de l'itération (k+1) devient :

$$v_i^{k+1} = \frac{KL_i}{v_i^k} - \sum_{j=1}^n YL_{i,j}v_j^k \quad i=1, 2... n; i \neq n_{ref} \text{(2.8).}$$

La nouvelle valeur calculée de la tension de v_i^{k+1} remplace immédiatement v_j^k dans la même itération.

D'où la formule final de tension :

$$v_i^{k+1} = \frac{KL_i}{(v_i^k)} - \sum_{j=1}^{i-1} YL_{i,j}v_j^{k+1} - \sum_{j=i+1}^n YL_{i,j}v_j^k \quad i=1, 2...n; i \neq n_{ref} \text{(2.9).}$$

Pour améliorer la convergence de la méthode de G-S on peut utiliser un facteur d'accélération α tel que :

$$v_i^{k+1} = v_j^k + \alpha \Delta v_i^k \text{(2.10).}$$

Le choix de α est empirique, et sa valeur optimale dépend de méthode de résolution et du mateur du système électrique. Cependant, l'expérience montre que pour un facteur d'accélération compris entre 1.30 et 1.70 donne de bon résultat dans le traitement de l'écoulement de puissance.

La convergence dépend aussi des valeurs initiales estimées des tensions des jeux de barre qui sont généralement initialisées à leurs nominales (1.00 pour le module en unité relative et 0° pour l'angle de phase).

II.2.3. Algorithme de la Méthode de Gauss - Seidel

Étape 1 : lire les données du système. La matrice admittance et les estimations des tensions des jeux de barres.

Étape 2 : calcul de $L_i, KL_i, YL_{i,j}$ $i=1,2,\dots,n$; $i \neq nref$ et $j = 1,2,\dots,n$.

Étape 3 : on initialise le compteur de nombre d'itération à l'unité.

Étape 4 : résoudre l'équation de la tension pour le jeu de barre i :

$$V_i^{k+1} = \frac{KL_i}{\bar{v}_i^k} - \sum_{j=1}^{j=n-1} YL_{ij} V_j^{k+1} - \sum_{j=i+1}^n YL_{ij} V_j^k \quad i=1, 2, \dots, n; i \neq nref$$

Étape 5 : calculer la variation de la tension au jeu de barre i :

$$\Delta V_i^k = V_i^{k+1} - V_i^k \quad i=1, 2, \dots, n; i \neq nref$$

et on fait le test suivant :

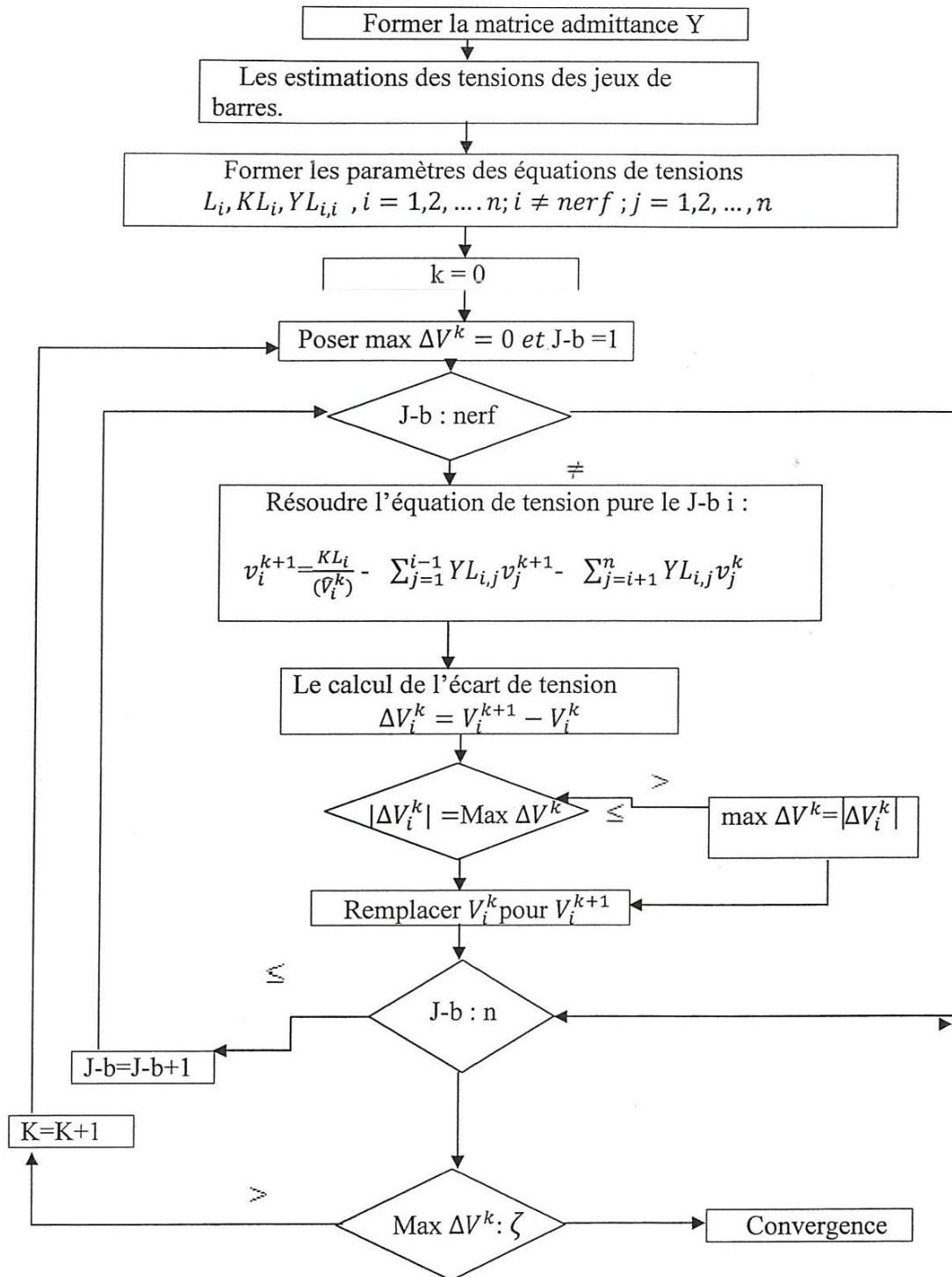
Si $\max(|\Delta v_i^k|) \leq \zeta$ on va vers l'étape 7.

Sinon on va vers étape 6.

Étape 6 : on remplace v_i^k par v_i^{k+1} , on ajoute au compteur d'itération un 1 ($k=k+1$) et on va vers étape 4.

Étape 7 : les valeurs des tensions sont déjà calculées, donc on calcul la puissance de jeu de barre de référence et les autres calculs nécessaires.

II.2.4. Organigramme de Gauss-Seidel Utilisant la Matrice Admittance



b) Dans le cas des multi variables

La méthode peut facilement être étendue pour les équations non linéaires à multi variables, de la manière suivante :

Soit l'ensemble des équations non linéarités :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \dots \dots \dots (2.15). \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned}$$

pour des valeurs initiales estimées $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ on peut déterminer l'erreur $\Delta x_1^0, \Delta x_2^0, \dots, \Delta x_n^0$.

Le système d'équation (2.15) devient :

$$\begin{cases} f_1(x_1^0 + \Delta x_1^0 + x_2^0 + \Delta x_2^0 + \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \\ f_2(x_1^0 + \Delta x_1^0 + x_2^0 + \Delta x_2^0 + \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \dots \dots \dots (2.16). \\ \dots \dots \dots \\ f_n(x_1^0 + \Delta x_1^0 + x_2^0 + \Delta x_2^0 + \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \end{cases}$$

De la même manière on développe et on néglige les termes d'ordres supérieurs de l'équation (2.16).

$$\begin{cases} f_1(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} \Delta x_1^0 + \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} \Delta x_2^0 + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \Delta x_n^0 = 0 \\ f_2(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} \Delta x_1^0 + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} \Delta x_2^0 + \dots + \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \Delta x_n^0 = 0 \dots \dots \dots (2.17). \\ \dots \dots \dots \\ f_n(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) + \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} \Delta x_1^0 + \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} \Delta x_2^0 + \dots + \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \Delta x_n^0 = 0 \end{cases}$$

L'équation (2.17) sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ f_2(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \\ \dots \dots \dots \\ f_n(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_{x_1^0} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \Big|_{x_2^0} & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_{x_n^0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^0 \\ \Delta x_2^0 \\ \dots \\ \Delta x_n^0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.18).$$

De l'équation (2.18) on peut déterminer $\Delta x_1^0, \Delta x_2^0, \dots \dots \dots \Delta x_n^0$. Le système de l'itération k peut s'écrire sous la forme :

$$\begin{bmatrix} f_1(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \\ f_2(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \\ \dots \dots \dots \\ f_n(x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1^k} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_{x_2^k} & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \Big|_{x_n^k} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_{x_1^k} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2^k} & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \Big|_{x_n^k} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \Big|_{x_1^k} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \Big|_{x_2^k} & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \Big|_{x_n^k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^k \\ \Delta x_2^k \\ \dots \\ \Delta x_n^k \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.19).$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \Delta x_i^k \quad i = 1 \dots \dots, n \quad \dots \dots \dots (2.20).$$

Les équations (2.19) et (2.20) peuvent êtres écrites sous la forme :

$$F(X^k) = -J^k \Delta X^k$$

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

II.3.2. Application de la méthode de Newton-Raphson pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance

Le problème de l'écoulement de puissance conventionnel peut être résolu par la méthode de Newton-Raphson, en utilisant un ensemble d'équations non linéaires pour exprimer les puissances active et réactives spécifiées en fonction des tensions (V an Ness et

Griffin, 1961), Ces tensions sont exprimées sous leur forme polaire pour faire apparaître les différentes grandeurs caractérisant le réseau électrique.

L'application de la méthode de N-R est basée sur le développement du premier ordre en série de Taylor des équations non linéaires de l'écoulement de puissance.

Si la tension du jeu de barre est exprimée sous la forme :

$$\dot{V} = V_i(\cos \theta_i + j \sin \theta_i) \dots \dots \dots (2.21).$$

La puissance active et réactive injectées aux barre i :

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.22).$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.23).$$

Tel que : $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$

On suppose que les jeux de barres de 1...m sont des PQ barres et de m+1...n-1 sont des PV barres et le n^{ème} barre est le barres balancier. Donc n-1 angles de tension inconnus et m module de tension inconnus, pour chaque barre PQ où PV on peut écrire l'équation d'équilibre de la puissance active:

$$\Delta P_i = P_{is} - P_i = P_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \dots \dots \dots (2.24).$$

Et pour les PQ barres on peut écrire aussi :

$$\Delta Q_i = Q_{is} - Q_i = Q_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \dots \dots \dots (2.25).$$

Tel que P_{is} et Q_{is} sont les puissances active et réactive injectées calculées .

Appliquons aux équations (2.24) et (2.25) la méthode de Newton-Raphson on peut obtenir :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = -J \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix}$$

ou $\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} H & N \\ K & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ V_D^{-1} \Delta V \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.26).$

Tel que :

$$\Delta P = \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.27).$$

$$\Delta Q = \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.28).$$

$$\Delta \theta = \begin{bmatrix} \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta \\ \vdots \\ \Delta \theta_{n-1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.29).$$

$$\Delta V = \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.30).$$

$$V_D = \begin{bmatrix} V_1 & & & \\ & V_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & V_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.31).$$

H est une matrice (n-1) × (n-1) et ses éléments sont $H_{ij} = \frac{\partial \Delta P_i}{\partial \theta_j}$

N est une matrice (n-1) × m et ses éléments sont $N_{ij} = V_j \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_j}$.

K est une matrice m × (n-1) et ses éléments sont $K_{ij} = \frac{\partial \Delta Q_i}{\partial \theta_j}$.

L est une matrice m × m et ses éléments sont $L_{ij} = V_j \frac{\partial \Delta P_i}{\partial V_j}$.

Si $i \neq j$ les expressions des éléments de la matrice jacobienne sont :

$$H_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.32).$$

$$N_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.33).$$

$$K_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.34).$$

$$H_{ij} = -V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.35).$$

Si $i = j$

$$H_{ij} = V_i^2 B_{ii} + Q_i \dots \dots \dots (2.36).$$

$$N_{ij} = -V_i^2 G_{ii} + P_i \dots \dots \dots (2.37).$$

$$K_{ij} = V_i^2 G_{ii} - P_i \dots \dots \dots (2.38).$$

$$L_{ij} = V_i^2 B_{ii} - Q_i \dots \dots \dots (2.39).$$

Les étapes de calcul :

Etape 1 : Lire les données

Etape 2 : Former la matrice Y_{bus}

Etape 3 : Estimer les valeurs initiales des tensions

Etape 4 : Calculer les puissances d'équilibres d'après les équations (2.24) et (2.25) et vérifier la le test de convergence.

$$\max |\Delta P_i^k| < \varepsilon_1$$

$$\max |\Delta Q_i^k| < \varepsilon_2$$

Si le test est vérifié on arrête les itérations et on calcule les puissances de lignes et la puissance active et réactive du barre balancier, sinon on passe à l'étape suivante.

Etape 5 : calculer les éléments de la matrice jacobienne (2.32)-(2.39).

Etape 6 : calculer les valeurs de correction des tensions en utilisant l'équation (2.26) et on calcul les tensions des jeux de barres.

$$V_i^{k+1} = V_i^k + \Delta V_i^k \dots \dots \dots (2.40).$$

$$\theta_i^{k+1} = \theta_i^k + \Delta \theta_i^k \dots \dots \dots (2.41).$$

Etape 7 : retour à l'étape 4 avec les nouvelles valeurs des tensions des jeux de barres.

II.3.3 Remarques

La méthode de Newton-Raphson est itérée avec la méthode de gradient réduite pour minimiser une fonction objective, La convergence de cette méthode dépend du vecteur initial $[X^0]$ qui être proche de la solution finale sinon on risqué d'avoir la divergence.

Les valeurs du la vecteur tension sont généralement choisies proches des valeurs nominales en (PU): 1.00 pour l'amplitude et 0.00° pour l'angle. Pour avoir un vecteur initial plus proche de la solution, on utilise la méthode de Gauss-Seidel qui a l'avantage de converger vers la solution même si le vecteur initiale est lion du vecteur de solution. Ce processus est utilisé uniquement pour déterminer le initial nécessaire à l'algorithme d'optimisation.

Durant le processus de calcul, les valeurs des modules de tensions des jeux de barres de générateurs(PV) ne seront pas calculées puisque elles sont spécifiées, mais une fois le processus se termine, les valeurs exactes de puissance réactives de ces jeux de barre seront calculées de la même manière que celle du jeu de barre de référence.

Finalement il faut noter que la matrice jacobienne a la même structure que celle de la matrice admittance, les éléments non diagonaux sont négligeables devant les éléments diagonaux, et les sous matrices N et J de la Jacobienne sont nulles. L'écoulement de puissance devient donc « découplé » : la puissance active est liée aux angles de phases et la puissance réactive est fonction des modules de tension.

Cette méthode est très utilisée dans le cas des grands réseaux pour donner des algorithmes rapides.

II.4. Méthodes découplées

Toujours dans le but de réduire le temps de calcul, on peut souvent faire l'hypothèse du découplage des variables. Dans un réseau à haute tension on sait que les phases régissent essentiellement la circulation des puissances actives et que les modules des tensions nodales sont principalement dépendants de la circulation des puissances réactives. Dans ces conditions, on peut annuler les sous matrices $[J^{12}]$ et $[J^{21}]$ et, on obtient deux systèmes dont la dimension de la matrice à inverser est environ quatre fois plus petite.

$$[\Delta\theta] = [J^{11}]^{-1}[\Delta P] \dots\dots\dots(2.42).$$

$$[\Delta V] = [J^{22}]^{-1}[\Delta\theta] \dots\dots\dots(2.43).$$

Pour encore réduire l'effort de calcul : notamment dans l'étude répétée de sécurité (N-1) (perte d'un élément de production ou de transmission), une méthode dite « rapide » est proposée, où les éléments des matrices $[J^{11}]$ $[J^{22}]$ sont simplifiés en négligeant les parties réelles des admittances des lignes, en assimilant le sinus de la différence d'angles et le cosinus à l'unité.

II.5. Application sur un réseau de vent six nœuds

a. Schéma de base du réseau

-Données initiales :

- ✓ Le jeu de barre de référence est (1).
- ✓ Nombre de JB est (26).
- ✓ Nombre de lignes est (46).

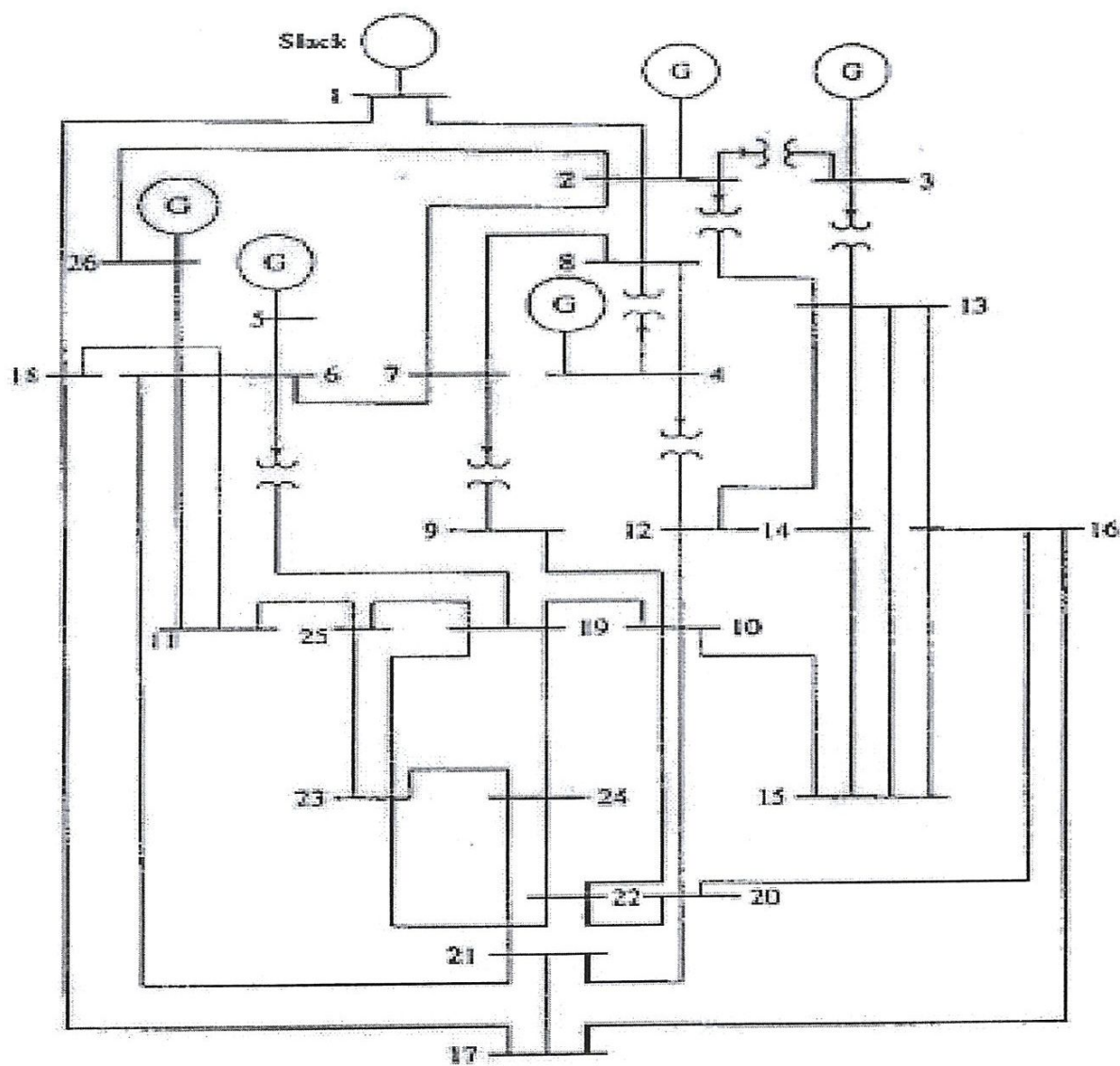


Figure.8:Schéma de base du réseau.

b. Données du réseau

Les données du réseau sont exprimées dans le tableau suivant :

$$S_b = 100 \text{ MVA} \quad U_b = 220 \text{ KV.}$$

Tableau.3 : Données du Réseau .

N°	Code	Tension U(P,K)	Angle (deg)	Pch (MW)	Qch (Mvar)	Pg (MW)	Qg (Mvar)	Qmin	Qmax	Qshunt
1	1	1,025	0	51	41	0	0	0	0	4
2	2	1,020	0	22	15	79	0	40	250	0
3	2	1,025	0	64	50	20	0	40	150	0
4	2	1,050	0	25	10	100	0	25	80	2
5	2	1,045	0	50	30	300	0	40	160	5
6	0	1	0	76	29	0	0	0	0	2
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	89	50	0	0	0	0	3
10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	25	15	0	0	0	0	1,5
12	0	1	0	89	48	0	0	0	0	2
13	0	1	0	31	15	0	0	0	0	0
14	0	1	0	24	12	0	0	0	0	0
15	0	1	0	70	31	0	0	0	0	0,5
16	0	1	0	55	27	0	0	0	0	0
17	0	1	0	78	38	0	0	0	0	0
18	0	1	0	153	67	0	0	0	0	0
19	0	1	0	75	15	0	0	0	0	0
20	0	1	0	48	27	0	0	0	0	0
21	0	1	0	46	23	0	0	0	0	0
22	0	1	0	45	22	0	0	0	0	0
23	0	1	0	25	12	0	0	0	0	0
24	0	1	0	54	27	0	0	0	0	0
25	0	1	0	28	13	0	0	0	0	0
26	2	1,015	0	40	20	60	0	15	50	0

c. Impédance de la lignes et admittance ces shunts

Tableau .4 : Impédance de la Lignes et Admittance ces Shunts

départ	arrivée	R En (u.r)	X En (u.r)	B/2 Ysh/2 en (u.r)	Type ligne
1	2	0,0055	0,00480	0,03000	1
1	18	0,00130	0,01150	0,06000	1
2	3	0,001460	0,05130	0,05000	0,96
2	7	0,01030	0,05860	0,01800	1
2	8	0,00740	0,03210	0,03900	1
2	13	0,00357	0,09670	0,02500	0,96
2	26	0,03230	0,19670	0	1
3	13	0,00070	0,00548	0,00050	1,017
4	8	0,00080	0,02400	0,00010	1,050
4	12	0,00160	0,02010	0,01500	1,050
5	6	0,00690	0,03000	0,09900	1
6	7	0,00535	0,03060	0,00105	1
6	11	0,00970	0,05700	0,00010	1
6	18	0,00374	0,02220	0,00120	1
6	19	0,00350	0,06600	0,04500	0,950
6	21	0,00500	0,09000	0,02260	1
7	8	0,00120	0,00693	0,00010	1
7	9	0,00095	0,04290	0,02500	0,950
8	12	0,00200	0,01800	0,02000	1
9	10	0,00104	0,04930	0,00100	1
10	12	0,00247	0,01320	0,01000	1
10	19	0,05470	0,23600	0	1
10	20	0,00660	0,01600	0,00100	1
10	22	0,00690	0,02980	0,00500	1
11	25	0,09600	0,27000	0,01000	1
11	26	0,01650	0,09700	0,00400	1
12	14	0,03210	0,08020	0	1
12	15	0,01800	0,05980	0	1
13	14	0,00460	0,02710	0,00100	1
13	15	0,01160	0,06100	0	1
13	16	0,01793	0,08880	0,00100	1
14	15	0,00690	0,03820	0	1
15	16	0,02090	0,05120	0	1
16	17	0,09900	0,06000	0	1
16	20	0,02390	0,05850	0	1
17	18	0,00320	0,06000	0,03800	1
17	21	0,22900	0,44500	0	1
19	23	0,03000	0,13100	0	1
19	24	0,03000	0,12500	0,00200	1
19	25	0,11900	0,22490	0,00400	1
20	21	0,06570	0,15100	0	1
20	22	0,01500	0,03660	0	1
21	24	0,04760	0,15100	0	1
22	23	0,02900	0,09900	0	1
22	24	0,03100	0,08800	0	1
23	25	0,09870	0,11680	0	1

II.6. Résultats de calcul de l'écoulement de puissance

En utilisant la méthode de Newton- Raphson pour trouver mayeur itération.

a) Résultats après excitation en MATL

- ✓ Nombre d'itération = 6.
- ✓ $\Delta P = P^{spe} - P^{cal} = 3.17777 \cdot 10^{-10}$.
- ✓ Le jeu de barre de balancier (slack bus) : NREF = 1

Tableau.5 : Résultats de Calcul de L'écoulement de Puissanc

N°de Nœud	Tension V(P.U)	Angle S(deg)	Pch(MW)	Qch(MVAR)	Pg(MW)	Qg(MVAR)
1	1.025	0.000	51.000	41.000	719.568	225.105
2	1.020	-0.931	22.000	15.000	79.000	125.935
3	1.035	-4.212	64.000	50.000	20.000	63.429
4	1.050	-3.600	25.000	10.000	100.000	50.988
5	1.045	1.130	30.000	300.000	125.644	5.000
6	0.999	-2.568	76.000	29.000	0.000	0.000
7	0.994	-3.205	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.997	-3.301	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1.008	-5.392	89.000	50.000	0.000	0.000
10	0.989	-5.392	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.997	-3.216	25.000	15.000	0.000	0.000
12	0.993	-4.688	89.000	48.000	0.000	0.000
13	1.014	-4.430	31.000	15.000	0.000	0.000
14	1.000	-5.038	24.000	12.000	0.000	0.000
15	0.991	-5.536	70.000	31.000	0.000	0.000
16	0.982	-5.881	55.000	27.000	0.000	0.000
17	0.987	-4.985	78.000	38.000	0.000	0.000
18	1.007	-1.865	153.000	67.000	0.000	0.000
19	1.002	-6.383	75.000	15.000	0.000	0.000
20	0.980	6.022	48.000	27.000	0.000	0.000
21	0.977	-5.775	46.000	23.000	0.000	0.000
22	0.977	-6.434	45.000	22.000	0.000	0.000
23	0.975	-7.081	25.000	12.000	0.000	0.000
24	0.967	-7.341	54.000	27.000	0.000	0.000
25	0.973	-6.770	28.000	13.000	0.0000	0.000
26	1.015	-1.803	40.000	20.000	60.000	33.057
Total			1263.000	637.000	1278.568	624.168

d. Les puissances de lignes et les pertes

Tableau .6 : Les Puissances de Lignes et les Pertes

Ligne	Puissance au barre		Puissance de ligne	Les pertes de puissance dans la ligne	
	MW	MVAR		MW	MVAR
1	668.568	188.105	694.526		
2	361.867	65.033	367.664	0.710	-0.078
18	306.701	123.073	330.473	1.371	-0.261
2	57.000	110.935	124.722		
1	-361.157	-65.111	366.979	0.710	-0.078
3	124.295	51.288	134.461	0.242	-2.507
7	74.611	32.282	81.295	0.667	0.143
8	141.110	40.035	146.679	1.555	-1.189
13	69.918	50.475	86.234	0.244	1.230
26	8.223	1.303	8.326	0.022	0.131
3	-44.000	13.439	46.007		
2	-124.054	-53.795	135.215	0.242	-2.507
13	80.054	67.236	104.543	0.074	0.475
4	75.000	42.988	86.446		
8	-21.175	14.341	25.575	0.005	0.137
12	96.175	28.802	100.395	0.163	-0.934
5	250.000	100.644	269.498		
6	250.000	100.644	269.498	4.734	-0.100
6	-76.000	-27.000	80.654		
5	-245.266	-100.744	265.151	4.734	-0.100
7	37.752	9.648	38.966	0.082	0.258

11	19.747	-0.019	19.747	0.038	0.203
18	-60.313	-28.086	66.532	0.166	0.743
19	110.196	71.536	131.379	0.570	1.263
21	61.884	20.181	65.091	0.217	-0.499
7	0.000	0.000	0.000		
2	-73.944	-32.139	80.627	0.667	0.143
6	-37.671	-9.390	38.823	0.082	0.258
8	15.768	-47.353	49.909	0.030	0.155
9	95.847	88.615	130.533	0.152	1.598
8	0.000	0.000	0.000		
2	-139.555	-41.223	145.516	1.555	-1.189
4	21.181	-14.204	25.502	0.005	0.137
7	-15.737	47.508	50.046	0.030	0.155
12	134.112	7.919	134.345	0.364	-0.681
9	-89.000	-47.000	100.648		
7	-95.695	-87.016	129.342	0.152	1.598
10	6.695	40.016	40.573	0.017	0.603
10	0.000	0.000	0.000		
9	-6.678	-39.414	39.976	0.017	0.603
12	-114.223	-8.045	114.506	0.331	-0.194
19	4.545	-6.458	7.897	0.035	0.151
20	60.808	28.479	67.147	0.305	0.545
22	55.549	25.438	61.096	0.265	0.180

CONCLUSION

L'étude d'un réseau électrique nécessite le calcul de régime permanent pour lequel il y a plusieurs méthodes telles que la méthode de Gauss-Seidel et Newton-Raphson.

Dans l'application, la méthode de Newton-Raphson est très stable et donne la solution finale pour un nombre d'itération très limité, mais le point initial doit être bien choisi.

The page features a decorative graphic on the right side consisting of three overlapping circles in shades of blue, arranged vertically. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the text and the circles.

CHAPITRE III

Répartition économique de puissance
active

Chapitre.III

Répartition Economique de Puissance Active.

III. Répartition Economique

Le dispatching économique est un problème d'optimisation statique qui consiste à répartir la production de la puissance active qui est demandée entre les différentes centrales du réseau, de sorte à exploiter ce dernier de la manière la plus économique possible. Cette distribution doit évidemment respecter les limites de production de centrales. La variable à optimisée est donc le coût de production.

III.1. Répartition Economique de Puissance Active

Considérons un réseau d'énergie électrique dont on veut déterminer les puissances actives de chaque unité de production il faut déterminer les niveaux de production de l'ensemble des générateurs qui garantissent l'équilibre production consommation à moindre coût.

Le coût total des productions est la somme de :

- Des coûts des combustibles utilisés dans les centrales techniques.
- Les coûts de la main d'œuvre d'exploitation.
- Du coût des pertes dans le réseau.

III.2. La Fonction du Coût

Le coût de production d'une centrale est généralement modélisé par une fonction polynomiale du second degré en P_G (puissance active générale par centrale) dont les coefficients sont des constantes propres à chaque centrale :

$$C_{\text{centrale}}(P_g) = c + bP_G + aP_G^2$$

Dans le cas où ces coefficients (a, b et c) ne sont pas connus et les données des unités de production sont en forme de tableaux associant chaque puissance active générée à son coût de production on doit utiliser plusieurs techniques mathématiques pour déterminer les constantes a, b et c comme : l'analyse de régression [régression analysis] avec la méthode des moindres carrés, la logique floue.

III.3. Dispatching Economique Sans Pertes

Le problème de dispatching économique sans perte est peut complexe car le seul paramètre qui influence le coût est la puissance active générée par la centrale (sans tenir compte de la puissance perdue dans les lignes lors des transits de puissance entre les centrales et les charges).

Un autre problème d'optimisation statique, l' [optimal power flow]. La solution du dispatching économique est obtenue à l'aide de deux types de méthode d'optimisation, le premier type utilise le gradient (fonction de Lagrange) et le deuxième type utilise les itérations (minimiser sans gradient).

Dans certains cas on peut considérer le problème de dispatching comme linéaire par partie.

Dans notre travail on utilise le premier type d'où la fonction de Lagrange :

$$L = F + \lambda(P_D - \sum_{i=1}^N P_{gi}) \dots\dots\dots(3.1).$$

III.4. Dispatching Economique Avec Pertes

Deux approches sont essentiellement utilisées pour la solution de dispatching économique avec pertes, le premier est le développement d'une expression mathématique des pertes en fonction des puissances de sortie de chaque unité de production. La deuxième approche consiste à utiliser les équations de l'écoulement de puissances optimal.

III.5. Dispatching Economique de la Puissance Réactive

Plusieurs techniques sont utilisées pour ajouter l'écoulement de puissance réactive dans la formule de dispatching économique pour minimiser le coût total de l'énergie. En pratique, les injections d'énergie réactive par les FACTS et les compensateurs synchrones peuvent être utilisés pour régler la circulation de l'énergie réactive dans le réseau, cette énergie réactive est utilisée pour contrôler la magnitude du voltage dans les jeux de barres du réseau, donc il n'y a pas besoin d'un dispatching central de l'énergie réactive.

III.6.L'action des Contraintes

Le choix des puissances actives P_k n'est pas arbitraire, mais il y a des contraintes de type égalité et inégalité.

III.6.1. Les Contraintes du Type Egalité

$$W = \sum_{k=1}^N P_{GK} - \sum_{M=1}^N P_{DM} - \Delta P = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2).$$

P_{Gk} : Représente la puissance active générée au nœud (k).

P_{DM} : Représente la puissance active consommée au nœud (M).

ΔP : Représente les pertes actives totales.

III.6.2. Les Contraintes de Type Inégalité

$$P_{GK}^{min} \leq P_{GK} \leq P_{GK}^{max} \quad k=1\dots\dots n \dots\dots\dots (3.3).$$

Ou :

P_{GK}^{min} : Puissance minimale de l'unité k.

P_{GK}^{max} : Puissance maximale de l'unité k.

Pour résoudre le problème, on utilise la fonction de Lagrange qui est sous la forme suivante :

$$C = \sum_{k=1}^N C_k - \lambda \left(\sum_{k=1}^N P_{GK} - \sum_{M=1}^N P_{chM} - \Delta P \right) \dots\dots\dots (3.4).$$

Ou :

λ : Représente le multiplicateur de Lagrange.

Par application de (3.4) à notre réseau de (26) nœuds et si générateurs on obtient :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_{26} - \lambda \left(P_{G1} + P_{G2} + P_{G3} + P_{G4} + P_{G5} + P_{G26} - \sum_{M=1}^N P_{ch} - \Delta P \right)$$

III.7. Application Sur Réseau à (26) Nœuds

Les fonctions coûts des nœuds producteurs sont les suivantes :

$$C_1 = 240 + 7,0P_1 + 0,0070P_1^2$$

$$C_2 = 200 + 10,0P_2 + 0,0095P_2^2$$

$$C_3 = 220 + 8,5P_3 + 0,0090P_3^2$$

$$C_4 = 200 + 11,0P_4 + 0,0090P_4^2$$

$$C_5 = 220 + 10,5P_5 + 0,0080P_5^2$$

$$C_{26} = 190 + 12,0P_{26} + 0,0075P_{26}^2$$

Tandis que les contraintes sur puissance générées

$$100MW \leq P_{G1} \leq 500MW$$

$$50MW \leq P_{G2} \leq 200MW$$

$$80MW \leq P_{G3} \leq 300MW$$

$$50MW \leq P_{G4} \leq 150MW$$

$$50MW \leq P_{G5} \leq 200MW$$

$$50MW \leq P_{G26} \leq 120MW$$

Les puissances actives de réseau sont exprimées dans le tableau suivant :

Tableau.7 : Les Puissances Actives de Réseau.

Nœud	Générateur (MW)	Charge (MW)
1	719.534	51.000
2	79.000	22.000
3	20.000	64.000
4	100.000	25.000
5	300.000	50.000
6	0.000	76.000
7	0.000	0.000
8	0.000	0.000
9	0.000	89.000
10	0.000	0.000
11	0.000	25.000
12	0.000	89.000
13	0.000	31.000
14	0.000	24.000
15	0.0000	70.000
16	0.000	55.000
17	0.000	78.000
18	0.000	153.000
19	0.000	75.000
20	0.000	48.000
21	0.000	46.000
22	0.000	45.000
23	0.000	25.000
24	0.000	54.000
25	0.000	28.000
26	60.000	40.000

III.7.1. Détermination de Coût sans Répartition Optimale

Lorsque on utilise les valeurs des puissances générées d'après la méthode de Newton-raphson ($P_{G1}, P_{G2}, P_{G3}, P_{G4}, P_{G5}, P_{G26}$) voir le **Tableau 3**.

Le coût total :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_{26}$$

$$C=16760.68 \text{ D/h}$$

III.7.2. Détermination Des Puissances Optimales

a.Premier Cas: Optimisation Sans Perte

Le but du travail c'est la détermination des P_{Gi} qui nous donne un cout minimum et pour résoudre ce problème on utilise la relation de

La grange on obtient donc :

$$C_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \dots\dots\dots(3.5).$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} = 2a_i P_{Gi} + b_i$$

$$\frac{\partial C_1}{\partial P_{G1}} = 0,014 P_{G1} + 7,0$$

$$\frac{\partial C_2}{\partial P_{G2}} = 0,019 P_{G2} + 10,0$$

$$\frac{\partial C_3}{\partial P_{G3}} = 0,018 P_{G3} + 8,5$$

$$\frac{\partial C_4}{\partial P_{G4}} = 0,018 P_{G4} + 11,0$$

$$\frac{\partial C_5}{\partial P_{G5}} = 0,016 P_{G5} + 10,5$$

$$\frac{\partial C_{26}}{\partial P_{G26}} = 0,015 P_{G26} + 12,0$$

La contrainte est: $\sum P_{Gi} - \sum P_D = 0$

$$P_{G1} + P_{G2} + P_{G3} + P_{G4} + P_{G5} + P_{G26} - \sum P_D = 0$$

$$P_{G1} + P_{G2} + P_{G3} + P_{G4} + P_{G5} + P_{G26} = P_{ch1} + P_{ch2} + \dots + P_{ch26}$$

On a: $L = C + \lambda (P_D - \sum P_{Gi})$

Donc:

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{N_G} \frac{a_i}{2 a_i}}{\sum_{i=1}^{N_G} \frac{1}{2 a_i}} \dots\dots\dots(3.6).$$

D'après (3.6) ; $\lambda = 13.253$.

La résolution de ce système donne :

$$P_{G_i} = \frac{\lambda - b_i}{2 a_i} \quad (i=1\dots\dots\dots 6).$$

Les puissances actives des unités de productions sont:

$$P_{G_1} = \frac{13.253 - 7}{0.014} = 446.642 \text{ MW} .$$

$$P_{G_2} = \frac{13.253 - 10}{0.019} = 171.210 \text{ MW} .$$

$$P_{G_3} = \frac{13.253 - 8.5}{0.018} = 264.055 \text{ MW} .$$

$$P_{G_4} = \frac{13.253 - 11}{0.018} = 125.166 \text{ MW} .$$

$$P_{G_5} = \frac{13.253 - 10.5}{0.016} = 172.062 \text{ MW} .$$

$$P_{G_6} = \frac{13.253 - 12}{0.015} = 83.533 \text{ MW} .$$

En fin : Le cout minimum dans le ce cas c'est : **C=15564.613 D/h.**

b.Deuxième Cas : Optimisation Avec Pertes

Le problème qui se pose dans la solution de ce système d'équation c'est la détermination de l'expression des pertes de puissance actives en fonction des puissances générées , pour ce la on va citer la méthode théorique utilisée pour le calcul des pertes actives on utilise l'expression suivante :

$$P_L = B_{00} + \sum_{i=1}^{NG} B_{i0}P_{ji} + \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} P_{gi}B_{ij}P_{gj} \dots\dots\dots (3.7).$$

Dans notre cas le nombre de générateurs : NG=6

La matrice des coefficients B_{ij} :

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{16} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} & B_{26} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} & B_{35} & B_{36} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} & B_{46} \\ B_{51} & B_{52} & B_{53} & B_{54} & B_{55} & B_{56} \\ B_{61} & B_{62} & B_{63} & B_{64} & B_{65} & B_{66} \end{bmatrix}$$

B =

0,001417	0,001478	0,000897	-0,0001038	-0,00041429	-0,0001945
0,0014784	0,0043691	0,0050946	0,00011632	-0,0008072	-0,00027169
0,00089748	0,0050946	0,031831	-3,49354e-05	-0,001984	-0,0016482
-0,0001038	0,0001163	-3,493e-05	0,002929	-0,0006030	-0,0009131
-0,0004142	-0,0008072	-0,0019842	-0,00060396	0,0085402	-0,000147
-0,000195	-0,00027169	-0,0016482	-0,00091316	-0,0001479	0,0177174

$$B_0 = [B_{01}, B_{02}, B_{03}, B_{04}, B_{05}, B_{06}]$$

$$[-0.0002, -0.0008, 0.0067, 0.0001, 0.000, -0.0012]$$

$$B_{00} = [-0.0056]$$

Le but du travail c'est la détermination des P_{G_i} qui nous donne un cout minimal est pour résoudre ce problème ou utilise la relation suivant :

$$L(P_{g_i}, \lambda) = F(P_{g_i}) + \lambda \left(P_D + P_L - \sum_{i=1}^{NG} P_{g_i} \right) \dots \dots \dots (3.8).$$

ou

λ : La multiplicateur de Lagrange :

La condition nécessaire pour résoudre le problème d'optimisation c'est :

$$\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}} = \lambda \left(1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}} = 0, (i=1, \dots, 6) \right) \dots \dots \dots (3.9).$$

Où : $\frac{\partial CP_{Gi}}{\partial P_{Gi}}$: le cout incrémental dans le i générateur .

Donc $\frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}}$: les pertes transmission incrémental .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C_1}{\partial P_{G1}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G1}} = 0 \\ \frac{\partial C_2}{\partial P_{G2}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G2}} = 0 \\ \frac{\partial C_3}{\partial P_{G3}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G3}} = 0 \\ \frac{\partial C_4}{\partial P_{G4}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G4}} = 0 \\ \frac{\partial C_5}{\partial P_{G5}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G5}} = 0 \\ \frac{\partial C_6}{\partial P_{G6}} - \lambda + \lambda \frac{\partial PL}{\partial P_{G6}} = 0 \end{array} \right.$$

Et

$$\frac{\partial L(P_{gi, D})}{\partial \lambda} = PD + PL - \sum_{i=1}^{NG} P_{Gi} = 0$$

Pour l'application de la répartition économique avec perte il faut calculer le facteur de

Pénalité par l'équation : $\left(\frac{1}{\frac{\partial PL}{\partial P_{yi}}} \right) \frac{dC_i}{dP_{Gi}} \dots \dots \dots (3.10).$

Donc :
$$L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial PL}{\partial P_{Gi}}}$$

La justification physique de ce facteur de pénalité s'explique par le fait qu'à cause des pertes , il peut être plus intéressant de produire pour plus chère près du lieu de consommation que loin et pour moins chère .

$\frac{dC}{dP_{Gi}}$: Représente l'accroissement du coût de production pour une augmentation de la puissance consommée par les charges . Cette valeur est plus intéressante pour nous que le coût incrémental défini précédemment car il tient compte des pertes. Ainsi , le critère pour la distribution des paquets de puissance sera dorénavant de trouver le coût incrémental corrigé plus faible .

Pour déterminer la répartition optimale on estime une valeur initiale de λ et la seule méthode de choisir λ et le valeur de λ lorsque les pertes sont nulles l'équation :

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{2 a_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{2 a_i}}$$

Donc on calcul les P_{Gi} d'Après l'expression.

$$P_i = \frac{\lambda(1 - B_{0i}) - b_i - 2\lambda \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_g} B_{ij} P_{gj}}{2(a_i + \lambda B_{ii})} \quad (i = 1 \dots N) \dots \dots \dots (3.11).$$

On remplace le P_i dans l'équation suivante :

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{gi}^k = PD + PL \dots \dots \dots (3.12).$$

Donc
$$\sum_{i=1}^{N_g} \frac{\lambda^k (1 - B_{0i}) - B_i - 2 \lambda^k \sum_{j \neq i}^{N_g} B_{ij} P_{gj}}{2(a_i + \lambda B_{ii})} = PD + PL$$

Le développement en série de Taylor de la fonction

$f(\lambda)$. Au point λ^k

$$f(\lambda^k) + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right) \Delta\lambda = PD + PL \dots\dots\dots(3.12).$$

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta P}{\sum \frac{\Delta P_i}{\Delta n}} \dots\dots\dots(3.13).$$

Telque : $\Delta P = PD + PL - \sum P_i$

$$\text{Et : } \sum \frac{dP_i}{d\lambda} = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{a(1 - B_{0i}) + B_{ii} b_i - 2a \sum_{i=1, j \neq i}^n B_{ij} P_j}{2(a_i + \lambda B_{ii})^2}$$

La nouvelle valeur : $\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda$

Ainsi le processus itératif continu jusqu'à ΔP inférieur à une certaine précision.

Les résultats de l'application de la méthode sur un programme en Matlab sont les suivants :

Pertes totales de puissances actives 15.568 MW

Répartition optimale de la puissance :

474.3961 MW.

173.8258 MW.

190.4054 MW.

150.0000 MW.

196.9412 MW.

103.7176 MW.

$\lambda = 13.916419$ D/MWh

Puisque la différence entre la puissance générée par le jeu de barre balancier avant le dispatching et supérieur à une certaine précision pour cela on doit calculer les nouvelles valeurs des coefficients B_{B0i} et B_{00} , obtenus par l'application de la méthode de Newton Raphson sur le réseaux en prenant comme valeurs des puissances celles obtenues par le dispatching, donc de nouvelles itérations jusqu'à la condition est vérifiée (différence entre la puissance du jeu de barre balancier entre deux itération inférieur à une certaine précision).

Résultats après plusieurs itérations :

Les pertes totales de puissances actives : **12.8535 MW.**

Répartition optimale de la puissance :

447.7344 MW.

173.2263 MW.

263.5424 MW.

138.8322 MW.

165.4450 MW.

87.0672 MW.

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre des notions sur le dispatching économique, la fonction du coût et comment faire extraire cette fonction à l'aide de méthode théorique. Nous avons traité aussi la méthode d'optimisation (minimisation) qui utilise les itérations pour solutionner le problème de dispatching économique.

Avec l'application de la méthode de Newton Raphson au même réseau en conclue que :

- Le coût de production est nettement inférieur l'ore de optimalisation.
- Le coût de production avec pertes est supérieur à celui sans pertes

CONCLUSION GENERALE

Nous avons étudié dans ce mémoire le calcul de la répartition optimale des puissances active dans le réseau électrique, (load flow ou power flow) qui a pour but de déterminer les conditions de fonctionnement d'un réseau en régime permanent équilibré.

L'opération qui consiste à calculer un terme de plus de la suite de la solution approchée est appelée itération. En pratique, un nombre fini d'itérations, on s'arrête lorsque la dernière solution obtenue approche suffisamment de la solution exacte.

Un grand nombre de techniques itératives la méthode est disponible, cependant notre étude est portée sur deux méthodes qui sont plus au moins sollicitées par la majorité des utilisateurs.

Parmi ces méthodes itératives la méthode de Gauss Seidel et Newton Raphson. L'avantage de cette dernière méthode est que sa tolérance est spécifiée sur la variation de puissance active et réactive.

La principale inconvénient de la méthode de Newton Raphson est la difficulté des calculs de la matrice Jacobienne et de son inverse, ce qui n'est pas toujours le cas de la méthode Gauss Seidel.

Finalement nous avons étudié dans ce travail la répartition optimale des puissances active dans le réseau électrique, qui consiste à la détermination des puissances optimales.

Il y a deux cas pour l'optimisation sans pertes et avec pertes.

D'après l'application de l'algorithme de Newton Raphson en régime permanent et régime optimal on conclut que la répartition optimale des puissances actives permet de minimiser le coût de production de l'énergie.

Bibliographie :

- 1-Power system analysis, John, g. Grainer, William D. Stevenson J.R., 1994
- 2-Optimal power flow solution, IEEE trans, power apparatuses systems, volc pas 87, N° 10, PP 1866-876, October 68.
- 3-Mémoire Magister (Université Constantine)
- 4-Ligne et réseaux électriques,(Jean Claude sabonnadière)
- 5-Modern power system analysis I-J Nagratu ey Kothari; New Delhi1983.
- 6- cours Dr. Gouaidia said