

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option: Réseaux électrique

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

*Analyse et amélioration de réseaux algériens
de transport d'électricité sous MATLAB*

Présenté par :

Bouti Khaled

Soutenu le : 03Juin 2014

Devant le jury composé de :

Mr Rezzig Mohammed

MAA

Président

Mr Naimi Djemai

MCB

Encadreur

Mr Rouina Abdelhafid

MCB

Examineur

Année universitaire : 2013 / 2014

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière :Electrotechnique
Option: Réseaux électrique

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

*Analyse et amélioration de réseaux algériens de transport
d'électricité sous MATPOWER*

Présenté par :

Bouti Khaled

Avis favorable de l'encadreur :

Naimi Djemai

signature

Avis favorable du Président du Jury

Rezzig Mohammed

Signature

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option: Réseaux électrique

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Thème

*Analyse et amélioration de réseaux algériens de transport
d'électricité sous MATPOWER*

Proposé et Dirigé par : Naimi Djemai

RESUMES (Français)

L'opération de l'industrie et l'augmentation de la charge sont des opérateurs principaux qui provoquent la consommation brusque de l'énergie électrique. Pour éviter le problème de l'équilibre entre la production et la consommation il faut étudier l'écoulement de puissance de notre réseau électrique. Parce que la création de nouvelles centrales de production est très coûteuse. Puis de sa en va faire dans notre recherche à l'analyse de l'écoulement de puissance dans le réseau algérien de transport. et cette analyse est réalisée par la méthode de Newton-Raphson selon le programme développé sous l'environnement MATLAB (MATPOWER). Et en fin nous avons exposés en détails les résultats de programmation et donne des solutions pour la meilleure exploitation de notre réseau.

Mots-clés

L'écoulement de puissance. La méthode de Newton-Raphson. Réseau de transport. MATPOWER

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دعاء

” اللهم لا تجعلنا نصاب بالغرور إذا نجحنا،

ولا باليأس إذا أخفقتنا،

وذكرنا أن الإخفاق هو التجربة التي تسبق

النجاح

اللهم إذا أعطيتنا نجاحا فلا تأخذ تواضعنا

وإذا أعطيتنا تواضعا فلا تأخذ اعتزازنا

بكرامتنا

اللهم اختم بالسعادة أحلامنا

وحقق بالزيادة أمانينا”

”ربنا تقبل دعاءنا ”



Dédicace



Parce qu'il a des choses plus faciles à écrire qu'à dire, je dédie ce

Modeste travail de fin d'étude :

*A mes symboles d'affection et de tendresse Aux deux êtres qui me sont les plus chères au monde, qui sont ma raison d'être et de vivre : Ma chère **maman** et mon **cher père**.*

A mes très chers frères et mes chers sœurs chacun de son nom pour leur soutien moral

et leurs sacrifices au long de ma formation.

*A ma grande famille : **BOUTI** de still.*

*A toutes mes amis : **minou, raouf, akram, zakj, bahi, khaled, farouk, hamda, aymen, mohammed, ramzi, minou, mimou, azza, okba, lyas, bakkar, riadh, marzoug, salah, moussa, hamma, l3oss** chacun de son nom.*

A tous qui m'ont encouragé et aidé dans la réalisation de ce projet

A tous mes collègues de promotion 2014

A tous les enseignants de ma période d'étude

A tous ceux que j'aime et m'aiment.

Khaled





Remerciements



● *Nous remercions et louons Dieu qui nous a donné la force, La patience et la volonté tout au long des années de nos études, et nous ont honoré de sa science pour la réalisation de ce travail de recherche.*

● *Nous tenons au terme de ce travail à exprimer notre plus grand remerciement à Monsieur : NAIMI DJEMAI qui a suivi et dirigé notre travail avec patience et beaucoup d'intérêt, nous lui exprimons vivement notre grand respect.*

● *Nous tenons à remercier aussi Monsieur le président de jury REZZIG MOHAMMED et le membre du jury Monsieur ROUINA ABDELHAFID de l'intérêt dont ils font preuve à notre égard pour lire ce mémoire et en assistant à notre soutenance.*

● *Enfin nous invitons tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, à trouver dans le même hommage le témoignage de notre estime et de notre gratitude.*



Khaled



Liste Des Tableaux

N°	Titre	Page
Tableau1.1	Les types des variables des Jeux de barres existent	15
Tableau 2.1	Application des FACTS a la résolution des problèmes dans le réseau	49
Tableau 3.1	les applications principales des FACTS	50
Tableau 3.2	Codes des régions du RE algérien	53
Tableau 3.3	Codes des niveaux de tension dans le RE algérien	53
Tableau 3.4	Evolution de la puissance installée de production d'électricité	54
Tableau 3.5	Bus-data du réseau Algérien	58
Tableau 3.6	Informations des lignes du réseau Algérien	61
Tableau 3.7	L'analyse de l'écoulement de puissance par la méthode de « Newton Raphson »	66
Tableau 3.8	L'analyse de puissances transitées de réseau	69
Tableau 3.9	L'analyse des puissances dans les lignés du réseau Algérien	75
Tableau 3.10	les lignes qu'a des valeurs maximales de puissances transitées	81
Tableau 3.11	les lignés qu'a des valeurs minimales des puissances transités	81

Liste Des Figures

N°	Titre de figure	page
I.1	Schéma bloc des différentes Outils d'analyse des Réseau électrique	4
I.2	Structure topologique des réseaux	6
I.3	Schéma de principe d'un réseau radial	7
I.4	Schéma de principe d'un réseau bouclé	7
I.5	Schéma d'un réseau maillé	8
I.6	Modèles d'un générateur	10
I.7	Schéma pi d'une ligne de transmission	10
I.8	Représente la charge électrique	11
I.9	Schéma représente la structure du réseau électrique	12
I.10	Jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission	20
I.11	Représentation géométrique de la méthode de N-R	22
I.12	Organigramme de la méthode de N-R	30
I.13	Organigramme de la méthode de G-S	32
II.1	A : Schéma du SVC et TCBR. B : Caractéristique d'un SVC.	38
II.2	Schéma de base de STATCOM	38
II.3	Caractéristique de STATCOM	39
II.4	Caractéristique de TSSC	39
II.5	Caractéristique de TCSC	40
II.6	Schéma de base du SSSC	41
II.7	Schéma de base de l'UPFC	42
II.8	Modèle simplifié de la ligne	42
II.9	Courbe de puissance active et réactive en fonction de l'angle de transmission	43
II.10	Principe de compensation shunt	44
II.11	Courbe de puissance avec et sans compensation shunt en fonction de l'angle de transmission	44
II.12	Principe de compensation série	45
II.13	Diagramme vectoriel de compensation série	45
II.14	Courbe de puissance avec et sans compensation	46
II.15	Principe de compensation par déphasage	46

Liste Des Figures

II.16	Compensation par déphasage pour $\alpha = \pi/6$	47
II.17	Diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux	48
III.1	Carte du réseau national interconnecté	55
III.2	L'instruction runpf sur matlab	57
III.3	Etats des modules des tensions par rapport aux leurs limites	74
III.4	Etat des puissances générées par rapport aux leurs limites	74
III.5	L'état de la puissance transitée para pour la puissance maximale de réseau ALG	80

Liste des Symboles et Acronymes	
Symboles	ACRONYMES
<i>JB</i>	Jeux de barre.
<i>V ; Kv</i>	Volt ; Kilo volt.
<i>W ; Mw</i>	Watt ; Méga watt.
<i>VAR ; MVAR</i>	Volt Ampère Réactive ; Méga VAR.
<i>VA ; MVA</i>	Volt Ampère ; Méga VA.
<i>P_{Gi}</i>	La puissance électrique active générée par la centrale i (W).
<i>V_{imax}</i>	La tension maximale au niveau du JB i (V).
<i>V_{imin}</i>	La tension minimale au niveau du JB i (V).
<i>P_{Gi min}</i>	La puissance active générée minimale dans le JB i (W).
<i>P_{Gi max}</i>	La puissance active générée maximale dans le JB i (W).
<i>Q_{Gi max}</i>	La puissance réactive générée maximale dans le JB i (VAR).
<i>Q_{Gi min}</i>	La puissance réactive générée minimale dans le JB i (VAR).
<i>S_i</i>	La puissance apparente de jeu de barre i (VA).
\bar{Z}	L'impédance équivalente de la ligne (Ω).
\bar{V}_i	La valeur complexe de la tension au niveau du JB i (V).
<i>g</i>	Les contraintes d'égalité.
<i>h</i>	Les contraintes d'inégalité.
θ_i	angle de phase de la tension au niveau du JB i (degré).
ΔV	La valeur de la chute de tension dans la ligne de transport (V).
<i>n_g</i>	le nombre des générateurs inclure les JB de contrôle.
<i>x</i>	Le vecteur des variables d'état.
<i>U</i>	Le vecteur des variables de contrôle.
<i>a_i, b_i, c_i</i>	Les coefficients des puissances générées pour un générateur i.
<i>P_i^{res}, Q_i^{res}</i>	sont les puissances actives et réactive indiquées pour les JB(PQ).
<i>S_{Di}</i>	La puissance apparente demandée au niveau du JB i (VA)
V	Le module de la tension.
<i>P_m, P_mⁱ</i>	les puissances actives calculées et indiquées pour les JB (PV).
<i>S_i</i>	La puissance apparente au niveau du JB i (VA).
<i>S_{Gi}</i>	La puissance apparente générée au niveau du JB i (VA).

Liste des Symboles et Acronymes

I_i	Le courant du JB i (A).
Y_{ij}	L'admittance entre les jeux de barre i et j.
$[J^{(0)}]$	La matrice carrée dite Jacobéenne.
∇	Le gradient.
pu	Unité relative
FACTS	. Flexible Alternating Current Transmission Systems
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistors
TCR	Thyristor Controlled Reactor
TSR	Thyristor Switched Reactor
TSC	Thyristor Switched Capacitor
SVC	Static Var Compensator
STATCOM	Static Compensator
TCSC	Thyristor Controlled Series Capacitor
TSSC	Thyristor Switched Series Capacitor
TSSR	Thyristor Switched Series Reactor
SSSC	Static Synchronous Series Compensator
TCPAR	Thyristor Controlled Phase Angle Regulator
UPFC	Unified Power Flow Controller

ملخص

إن عملية التصنيع و الزيادة في الحمولة هما العاملان الأساسيان المؤديان إلى الزيادة المفرطة في استهلاك الطاقة الكهربائية, للتغلب على هذه المعضلة, التوازن بين التوليد و الاستهلاك و للوهلة الأولى يكون زيادة عدد محطات توليد الطاقة الكهربائية و ملحقاتها كخطوط النقل و محولات التوتر العالي....الخ. هذه الطريقة تؤدي إلى رفع تكاليف الإنتاج و تشويه المحيط. ولهذا قمنا في بحثنا هذا بدراسة تدفق القدرة في شبكة نقل الكهرباء في الجزائر المكونة من 114 قضيب تجميع و 175 خط نقل, و اعتمدنا على طريقة نيوتن رافسون, و قمنا ببرمجة معطيات الشبكة في برنامج MATPOWER وهو برنامج مطور داخل ماتلاب, و لقد قمنا في الأخير بعرض النتائج مع إعطاء بعض الاقتراحات لأجل تحسين تشغيل الشبكة.

الكلمات المفتاحية

تدفق القدرة

طريقة نيوتن رافسون

خطوط النقل

MATPOWER

Résumé

L'opération de l'industrie et l'augmentation de la charge sont des opérateurs principaux qui provoquent la consommation brusque de l'énergie électrique. Pour éviter le problème de l'équilibre entre la production et la consommation il faut étudier l'écoulement de puissance de notre réseau électrique. Parce que la création de nouvelles centrales de production est très coûteuse. Puis de sa en va faire dans notre recherche à l'analyse de l'écoulement de puissance dans le réseau algérien de transport. Qui contient de 114 jeux de barres et 175 lignes, et cette analyse est réalisée par la méthode de Newton-Raphson selon le programme développé sous l'environnement MATLAB (MATPOWER). Et en fin nous avons exposés en détails les résultats de programmation et donne des solutions pour la meilleure exploitation de notre réseau.

Mots-clés

L'écoulement de puissance.

La méthode de Newton-Raphson.

Réseau de transport.

MATPOWER.



INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis longtemps l'électricité a occupée une classe très importante dans la civilisation moderne. La puissance croissante des ordinateurs à permis d'aborder, puis de résoudre complètement des problèmes liés au réseau électrique de plus en plus nombreux et de plus en plus difficiles, par leur complexité et par le nombre des informations à traiter. Pour résoudre ces problèmes, l'ingénieur d'aujourd'hui ne doit pas ignorer les techniques numériques, ni les situations nouvelles qu'elles permettent de considérer. De ce fait, il doit posséder une bonne formation tant en analyse mathématique qu'en analyse numérique et en analyse statique, en vue d'une meilleure compréhension des phénomènes et donc d'une meilleure utilisation de ce moyen d'investigation et de décision.

L'apparition de la première génération des ordinateurs a permit de résoudre les complexités des problèmes d'écoulement de puissance (problème technique), Il faut donc planifier les puissances actives et réactives de chaque centrale électrique, de telle sorte que les pertes de puissances dissipées dans les lignes de transmission soit minimales. D'une autre façon, il faut varier les puissances actives et réactives des générateurs dans certaines limites afin de satisfaire la demande particulière de la charge avec une perte de puissance minimale.

Dans ce mémoire, nous présentons dans un premier chapitre les différentes méthodes standard utilisée pour l'étude et du problème de l'écoulement de puissance dans les réseaux HT (Gausse-Seidel et Newton raphson), L'étude d'écoulement de puissance est une tache indispensable pour assurer une meilleure exploitation des réseaux électriques. Nous mettons en évidence les modèles utilisés et les hypothèses simplificatrices ainsi que les algorithmes de calcul existant Des exemples viennent ensuite valider ces études.

Introduction générale

Dans le deuxième chapitre nous avons présentés de manière détaillée les équipements FACTS, leurs types, leurs rôles et les schémas de base des quelques dispositifs FACTS à savoir : SVC, STATCOM, TCSC, TSSC, SSSC et l'UPFC. L'état de la technologie, expérience et cout des dispositifs FACTS pour prépare notre programme proposé pour l'amélioration la profil de l'énergie des réseaux électriques.

Dans Le troisième chapitre nous avons exposés en détails les résultats de simulation selon le programme développé sous l'environnement MATLAB (MATPOWER), et étudié le principe des dispositifs de compensation dynamique ' FACTS '.

Enfin, une conclusion générale récapitule le travail que nous avons effectué et les principaux résultats que nous avons obtenus.

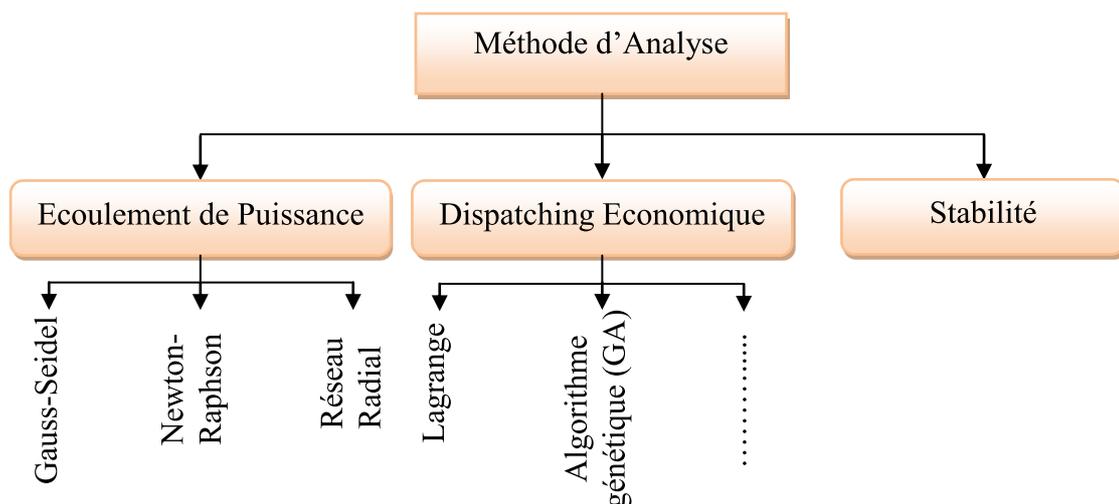
CHAPITRE I :

ANALYSE DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES

Introduction

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à calculer les tensions du réseau électrique pour des extrémités spécifiées et des conditions données aux jeux de barres.

L'étude de l'écoulement de puissance coordonne l'exploitation de toutes les ressources d'énergie et la répartition de la production entre les différents usagers, dont le but est d'obtenir l'exploitation la plus économique qui conduit à la meilleure utilisation de toutes les ressources, des prévisions concernant la consommation et la production ont été faite par des études approfondies, utilisant les méthodes numériques appliquées en ce domaine. Dans ce chapitre en va exposer les différentes méthodes permettant l'analyse des réseaux électriques tels que les méthodes itératives de Gauss-Seidel, la méthode de Newton-Raphson, ainsi que le dispatching économique. Ces méthodes sont considérées comme des outils indispensables pour l'ingénieur afin d'assurer une meilleur gestion de l'énergie électriques. Afin de faciliter la tâche à l'exploitant des réseaux électriques, le modèle mathématique des différentes méthodes citées dans ce chapitre seront intègre dans un programme dynamique [1]. La figure. I.1 représente le schéma bloc des différentes méthodes d'analyse des réseaux électriques.



(Fig. I.1) : Schéma bloc des différentes Outils d'analyse des Réseau électrique [1]

I.1. Historique

Dans les réseaux électriques, il existe de nombreux problèmes qui ont des effets sur le but principal qui est, le maintien du système énergétique fonctionnel, dans son état normal. Parmi ces problèmes on trouve celui de l'écoulement de puissance [2].

L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent [2].

Un grand nombre de mathématiciens, d'informaticiens et d'ingénieurs ont consacré des années de leur carrière à étudier les méthodes de calcul de l'écoulement de puissance. Il n'y a qu'à voir le nombre de publications dans ce domaine pour apprécier l'effort qu'ils ont développé.

Avant 1929, les calculs de l'écoulement de puissance (appelé power flow) se faisaient à la main. En 1929, des calculateurs de réseaux (de Westing House) ou des analyseurs de réseaux (de General Electric) furent employés pour les calculs d'écoulement de puissance. Ce n'est qu'en 1956 que fut développée la première méthode adéquate par Ward et Hale.

Les premières méthodes étaient basées sur la méthode itérative de Gauss-Seidel relative à la matrice admittance Y . Elle ne nécessite pas beaucoup d'espace mémoire et sa programmation est relativement simple. Mais, si les petits réseaux ne nécessitent que peu d'itérations pour converger, les grands réseaux, par contre, demandent un grand nombre d'itérations si toutefois ils convergent. Ce qui poussa les chercheurs à développer les méthodes basées sur la matrice impédance Z . Mais même si ces dernières avaient de meilleures caractéristiques de convergence, elles ont comme désavantage de nécessiter beaucoup d'espace mémoire dû au fait que la matrice Z n'est pas éparpillée ("sparse"), contrairement à son inverse Y .

Ce qui amena les chercheurs à développer la méthode de Newton-Raphson. Cette méthode nécessite plus de temps par itération que celle de Gauss-Seidel, alors qu'elle ne demande que quelques itérations même pour les grands réseaux. Cependant, elle requiert des capacités de stockage ainsi que des puissances de calcul importantes.

D'autres techniques sont apparues: celles qui exploitent l'éparpillement de la matrice Y et du Jacobien afin d'optimiser le stockage et celles qui tiennent compte du fort couplage entre P et Q et entre Q et V (Fast Decoupled Load Flow) afin d'accélérer le temps de calcul [2].

I.2. Structure topologique des réseaux

Les réseaux doivent assurer le transit de l'énergie électrique avec une sécurité suffisante, cette sécurité d'alimentation est augmentée soit:

- Par les lignes avec appareillages plus solides.
- Par des circuits plus nombreux.

Alors il y' a donc un compromis à réaliser entre le coût des investissements, Supplémentaires et la valeur de ce qu'ils permettent de sauver ce qui conduit à des topologies des réseaux différents [4] .



(Fig. I.2) : structure topologique des réseaux [4]

I.2.1. Réseaux radiaux

Un réseau radial issu d'un poste d'alimentation est constitué de plusieurs artères dont chacune va en se ramifiant, cette structure nous permet d'avoir des points communs, de sorte que le réseau soit bouclable mais non bouclé. Car en un point est placé toujours un appareil de coupure, ouvert en régime normal. Cette disposition permet en cas d'incidents sur une artère de reprendre l'alimentation [3].

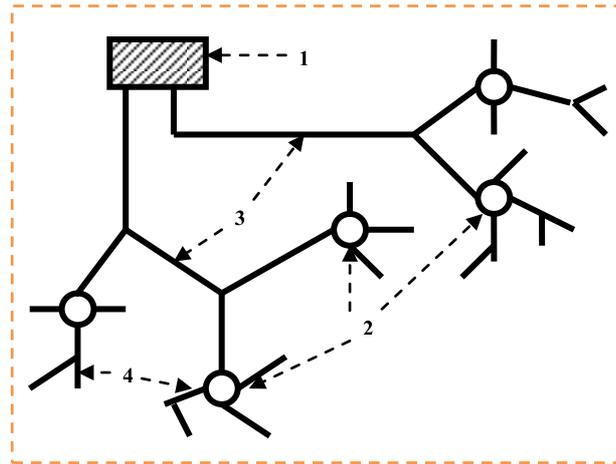
Les réseaux radiaux sont des structures simples et peuvent être contrôlé et protégés par un appareillage simple. Ce sont les réseaux les moins onéreux.

1-post HT/MT

2-post MT/BT

3-ligne MT

4-ligne BT



(Fig. I.3) Schéma de principe d'un réseau radial [4]

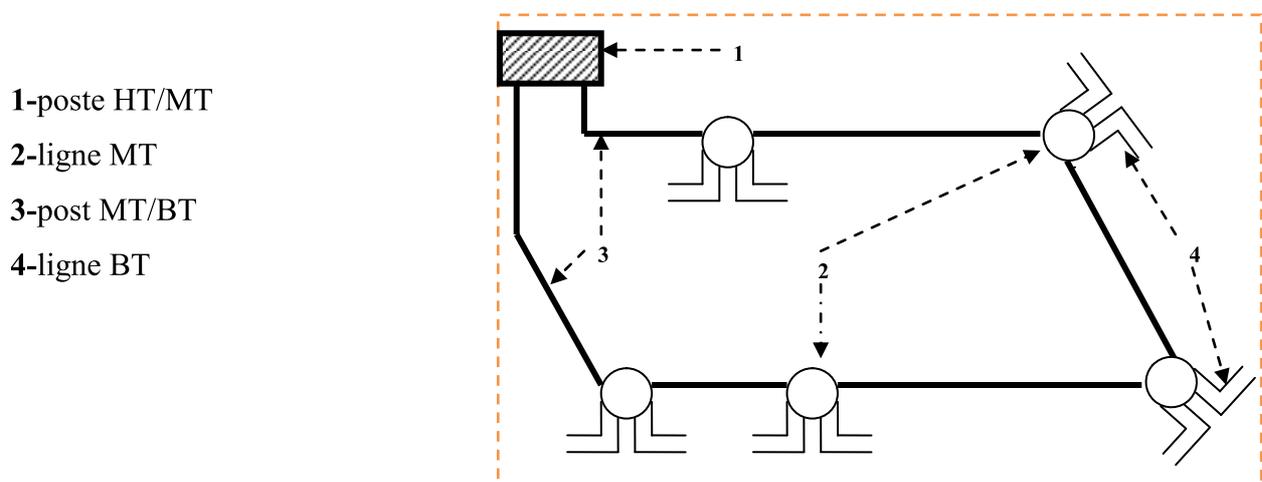
I.2.2. Réseaux bouclés

Les réseaux bouclés sont alimentés à la fois par plusieurs sources ; les postes sont raccordés en coupure d'artère cette disposition permet lors d'une coupure, une continuité de service [3].

L'existence de plusieurs sources en parallèle augmente la sécurité d'alimentation en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateurs) ou en cas d'avarie sur une boucle.

Dans ce dernier cas, le tronçon avarié est isolé en deux fractions du réseau. On voit que ce réseau est un peu plus compliqué que le précédent, de plus le contrôle et la protection du réseau nécessitent des dispositifs plus complexes.

Cette structure coûte chère car elle nécessite au moins deux cellules de départ en plus [3].



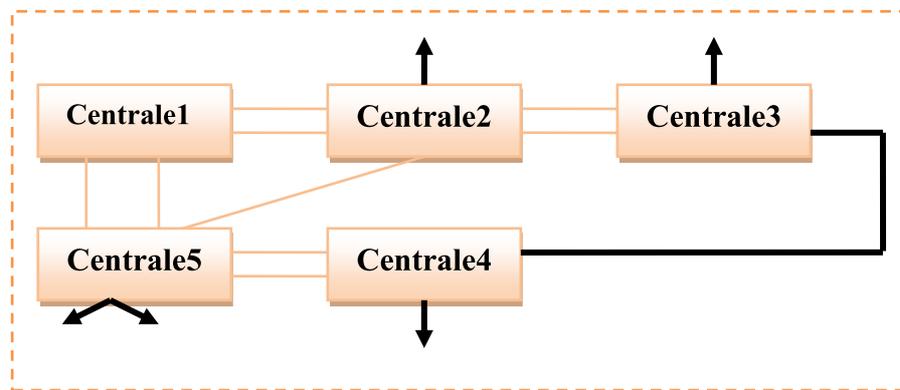
- 1-poste HT/MT
- 2-ligne MT
- 3-post MT/BT
- 4-ligne BT

(Fig. I.4) Schéma de principe d'un réseau bouclé [4]

I.2.3. Réseaux maillés

Ce sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées formant ainsi une structure analogue aux mailles d'un filet, de plus, le nombre de sources débitant en parallèle peut atteindre plusieurs dizaines.

Cette structure nécessite que tous les tronçons de ligne soient capables de supporter des surcharges permanentes et qu'il soit muni à leurs deux extrémités d'appareils de coupure les isolants en cas d'avarie. On obtient ainsi une meilleure sécurité, mais à un prix plus cher [3].



(Fig. I.5) Schéma d'un réseau maillé [4]

I.3. Les différentes fonctions du réseau

I.3.1. Réseaux de transport

Le rôle principal du réseau de transport est la liaison entre les grands centres de consommation et les moyens de productions. Il est à haute et très haute tension pour raison économique notamment, afin de minimiser les pertes de la ligne.

Alors on peut dire que le réseau de transport capable de transporter une puissance importante avec une faible perte et faible chute de tension [1].

I.3.2. Les réseaux d'interconnexion

L'interconnexion liée entre le réseau de transport et le réseau de répartition. Cette interconnexion utilise pour des raisons de technoéconomie elle assure l'échange énergétique [1].

I.3.3. Réseaux de répartition

Ce sont les réseaux HT/MT, ils fournissent les puissances nécessaires aux réseaux de distribution reliés entre eux, ils facilitent le secours mutuel entre régions [1].

I.3.4. Réseaux de distribution

Ce sont les réseaux de moyenne tension (MT) qui fournissent aux réseaux d'utilisation les puissances nécessaires demandées. Ils doivent observer des distances limitées de voisinage, c'est pour cela que ces réseaux se réalisent en souterrain dans les villes [1].

I.3.5. Réseau d'utilisation

Ces sont les réseaux de basse tension (BT) qui alimentent les foyers, l'éclairage, les moteurs, les appareils domestiques et doivent présenter une sécurité totale [1].

I.3.6. Les consommateurs

La consommation d'énergie électrique sur un territoire est diffusée car elle est répartie sur de nombreux appareils électriques différents [1].

I.4. Modélisation des composants du réseau électrique

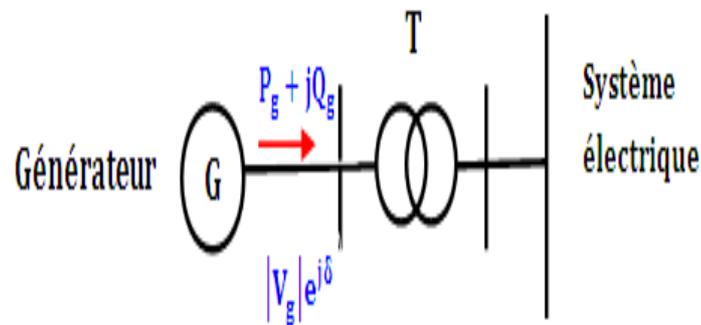
Les éléments qui interviennent dans le problème de répartition des charges sont ceux qui sont exposés à des hautes tensions et à des forts courants, à savoir : générateurs de puissance (*machine synchrone*), charges électriques, lignes de transports, transformateurs de puissances et compensateurs statiques.

I.4.1 Générateurs

Le générateur est considéré comme le cœur du réseau électrique, il assure la production de l'énergie électrique demandé par le consommateur, 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.

La puissance active du générateur est déterminée par le contrôle AGC (*Automatic Generation Control*) de la turbine, qui doit être dans la capacité du système turbine-générateur.

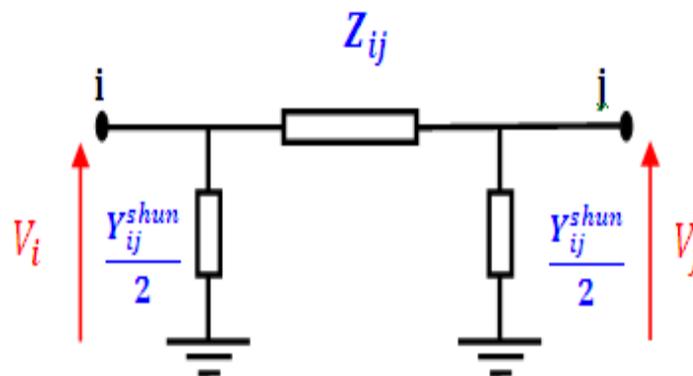
La tension (V_g) est principalement déterminée par l'injection de la puissance réactive au jeu de barre de production et contrôlé par AVR (*Automatic Voltage Regulator*) [6].



(Fig. I.6) Modèles d'un générateur [6].

I.4.2. Lignes de transmission

Les lignes de transmission de l'énergie électrique entre les nœuds i et j généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type pi (π) comme indiqué sur la Figure suivant [6] :



(Fig. I.7) Schéma pi d'une ligne de transmission [6].

Ce modèle est caractérisé par les paramètres suivants :

Z : c'est l'impédance série ou longitudinale par phase en (Ω) :

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

Où R_{ij} et X_{ij} sont respectivement, la résistance et la réactance série de la ligne entre les jeux de barres i et j .

Y : L'admittance shunt par phase en (*en Siemens*) :

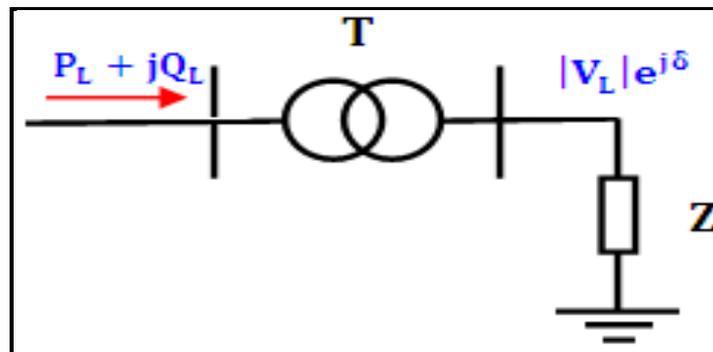
$$Y_{ij}^{shun} = g_{ij}^{shun} + jb_{ij}^{shun}$$

Où g_{ij}^{shun} et b_{ij}^{shun} sont, respectivement, la conductance et la susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j .

Ces paramètres spécifiques pour des lignes ou des câbles avec une Configuration donnée, dépendent de la nature des conducteurs et de leurs géométries. Dans la plupart des cas, la valeur d'est si petite, qu'on peut la négliger [7].

I.4.3. Charge électrique

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une impédance constante. Ils reflètent souvent des postes de répartition (*sous-stations*) qui alimentent des réseaux 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 [6].

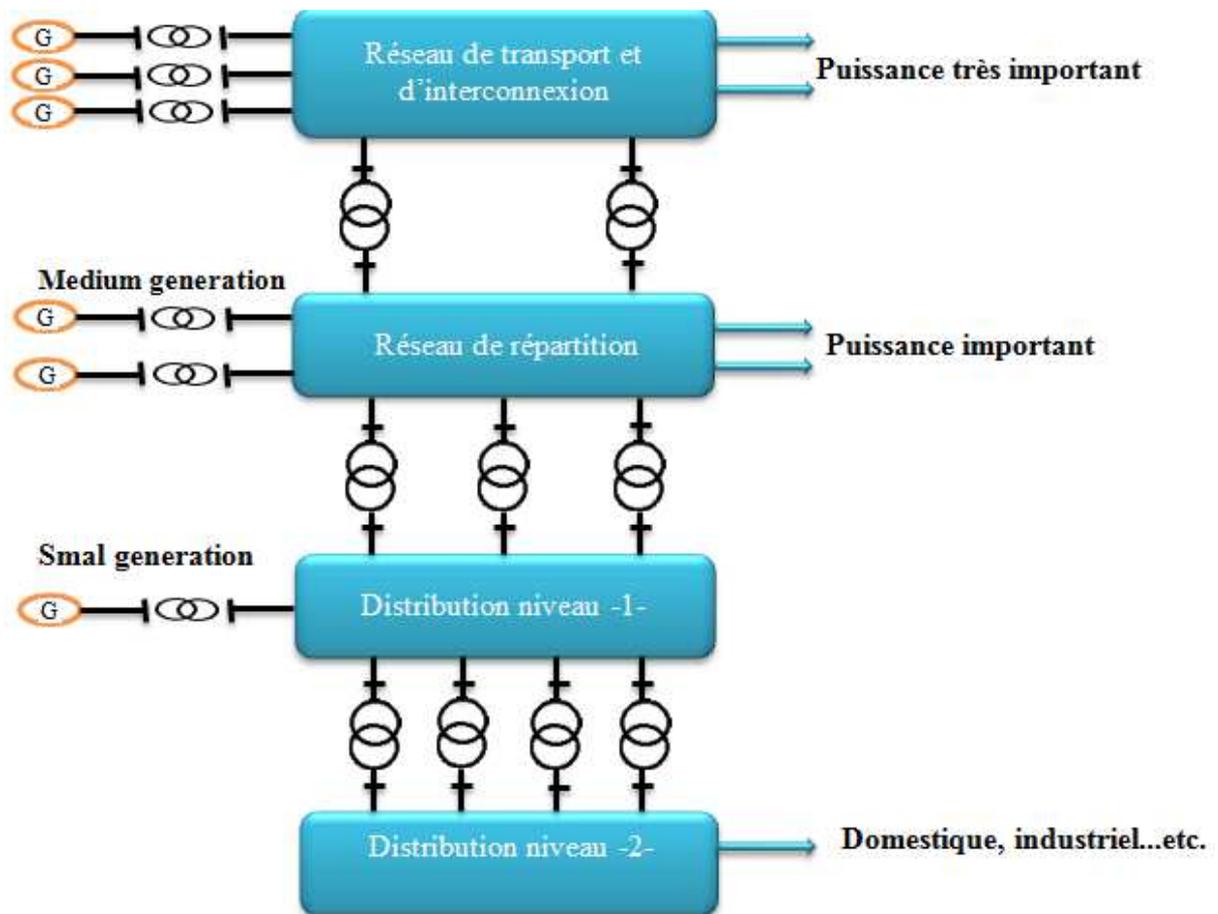


(Fig. I.8) Représente la charge électrique [6].

I.4.4. Eléments shunte

Généralement les éléments shunts sont des dispositifs destinés à :

- La compensation de l'énergie réactive (*les réactances qui sont utilisés pour fournir ou absorber la puissance réactive*).
- les batteries de condensateurs Pour obtenir un meilleur profil de tension [9].



(Fig. I.9) Schéma représente la structure du réseau électrique [6].

I.5. But de l'étude de l'écoulement de puissance

Le problème de l'écoulement de puissance consiste à calculer les tensions du réseau électriques pour des extrémités spécifiées et des conditions données aux jeux de barres, et dont les buts, Il se résume dans les points suivants:

1. assurer l'équilibre entre la production et la demande d'énergie électrique (l'amélioration de dépense de l'électricité, production d'énergie selon de besoin).
2. ne pas dépasser les valeurs limites (la stabilité théorique, selon bonne la durée d'utilisation).
3. il faut conserver les tensions de jeu barre entre la limites théoriques ($V_{min} < V < V_{max}$), On utilisant le contrôle de la puissance réactive.
4. planification de réseau (à partir de calcul de la charge). Pour augmenter la sécurité de fonctionnement des réseaux par une bonne stratégie) [4].

I.6. Classification des variables de l'écoulement de puissance

On peut résumer toutes les grandeurs électriques qui participent à déterminer l'état électrique de réseau en quatre variables : la puissance active(P), la puissance réactive(Q), le module de tension et l'angle θ . La distinction entre ces différentes variables est due à leur nature [10].

I.6.1. Les variables de perturbation ou non contrôlables

Parmi les variables des équations de l'écoulement de puissance, les variables de la demande (charge) P_D et Q_D qu'elles ne sont pas contrôlables car elles dépendent seulement des abonnés de la puissance. Les variables de perturbation avec cette définition constituent les composantes du vecteur de perturbation P [4].

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ P_n \\ P_{n+1} \\ P_{n+1} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{Dn} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_{Dn} \end{bmatrix}$$

I.6.2. Les variables contrôlables (de contrôle et d'état)

Ces variables peuvent d'être regrouper en deux catégories : les variables de contrôle et d'état.

I.6.2.1. Variables d'état

Ce sont l'amplitude et l'angle de la tension au niveau de jeux de barres, ils sont qualifiés d'état suite à leur valeur qu'elles peuvent déterminer l'état de réseau. Elles représentés par le vecteur d'état X [4].

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \\ X_{n+1} \\ X_{n+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta_n \\ |V_1| \\ |V_2| \\ \cdot \\ \cdot \\ |V_n| \end{bmatrix}$$

n: nombre de jeux de barres de tout le réseau.

I.6.2.2. Variables de contrôle

Les puissances générés à savoir P_G ou Q_G (actives ou réactives) sont des variables de contrôles représenté par le vecteur de contrôle U [4].

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ U_n \\ U_{n+1} \\ U_{n+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ U_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{Gn} \\ Q_{G1} \\ Q_{G2} \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_{Gn} \end{bmatrix}$$

I.7. Classification des jeux de barre

Les jeux de barres sont classés suivant les deux variables connus parmi les quatre variables citées ultérieurement. Généralement en les classes sous trois types [11], mais l'actualité du réseau oblige un quatrième type.

I.7.1. Jeu de barres de charges (PQ bus)

Ce sont les jeux de barres de la demande clientèles, pour ce genre, les puissances actives et réactives sont données, mais l'amplitude et l'argument de la tension sont à déterminer [04].

I.7.2. Jeu de barres de contrôle (PV bus)

Ce sont les jeux de barres générateurs de réseau où la puissance active et le module de la tension sont connus, puisqu'elles sont contrôlables; par contre la puissance réactive et l'argument de la tension sont inconnus [04].

I.7.3. Jeu de barre de référence

C'est un jeu de barre connecté à une source de tension considérée constante, et sans angle de phase est pris comme référence de calcul. Ses puissances actives et réactives, doivent être calculées d'après le calcul de la puissance pour s'adapter aux exigences de jeu de barre de contrôle [04].

Le tableau suivant résume tous les types des variables des Jeux de barre existent:

Tableau I.1 : Les types des variables des Jeux de barres existent [9].			
Type de Jeux de barre (JB)	Variable connue	Nombre de jeux de barre	Existence dans le réseau (%)
Charge (P, Q)	P, Q	$n - m$	≥ 80
Contrôle (P, V)	$P, V $	$m - 1$	≤ 20
Référence (slack/swing bus)	$ V , \theta_i$	1	1

I.7.4. Jeu de barre de contrôle (PQ bus) ou PQ de contrôle

Dans le calcul des variables inconnus (Q et θ) d'un jeu de barre de contrôle on peut trouver la valeur de l'énergie réactive Q dépasse les limites d'égalité ou d'inégalité de cette dernière; on est obligés donc de fixer la valeur de Q , ce jeu de barre reçoit un jeu de barre de contrôle (P, Q) [04].

I.8. Les équations de l'écoulement de puissance

La construction du modèle mathématique duquel on peut prédire la forme (aspect) de l'écoulement de puissance, est essentielle pour la compréhension du mécanisme de l'écoulement de puissance.

Dans la formulation des équations de l'écoulement de puissance l'une des deux matrices (admittance ou impédance est nécessaire) [01].

La puissance apparente S_1 injectée au jeu de barres 1 est donnée par l'équation $S_1 = V_1 I_1^*$ où I_1 est le courant qui entre dans le jeu de barres 1. Ce courant est composé de deux composantes, une composante $Y_p V_1$ qui s'écoule à travers l'admittance shunt, et une composante $(V_1 - V_2) Y_s$ qui s'écoule à travers l'admittance série de la ligne équivalente du réseau. D'après la loi de Kirchhoff appliquée à un jeu de barres nous avons:

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = V_1 Y_p + (V_1 - V_2) Y_s \quad (\text{Equ.1.1})$$

$$I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = V_2 Y_p + (V_2 - V_1) Y_s \quad (\text{Equ.1.2})$$

NB : Les équations (1.1) et (1.2) sont données pour une seule phase.

On peut écrire ces deux dernières équations d'une manière plus simple :

$$\begin{cases} I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 \\ I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 \end{cases} \quad (\text{Equ.1.3})$$

Avec :

$$\begin{aligned} Y_{11} &= Y_{22} = Y_p + Y_s \\ Y_{12} &= Y_{21} = -Y_s \end{aligned}$$

Maintenant on va introduire les matrices et les vecteurs suivants :

$$I_{BUS} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \text{ Vecteur de courants des jeux de barres}$$

$$V_{BUS} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \text{ Vecteur de tensions des jeux de barres}$$

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \text{ La matrice admittance du réseau}$$

$$Z_{BUS} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \text{ La matrice impédance du réseau}$$

On peut écrire les équations (1.3) d'une manière plus simple

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS} \quad (\text{Equ.1.4})$$

$$V_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} \quad (\text{Equ.1.5})$$

Ces équations sont complexes, linéaires. La caractéristique de linéarité assure une simple solution des inconnues. Les courants aux jeux de barres seront calculés par la substitution directe dans (1.3), et vice versa. Si les courants sont des inconnus, les tensions aux jeux de barres seront calculées d'après (1.4). Naturellement on a besoin d'inverser la matrice Y_{BUS} .

En réalité, ce sont les puissances qui seront connues et pas les courants, ce qui change la forme des équations (1.3) à :

$$\begin{cases} S_1^* = P_1 - jQ_1 = (Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2)V_1^* \\ S_2^* = P_2 - jQ_2 = (Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2)V_2^* \end{cases} \quad (\text{Equ.1.6})$$

Ces équations sont les équations de "l'écoulement de puissance" ou "l'écoulement de charge" recherchées.

La solution de ces équations est plus difficile que la solution du system d'équations linéaires (1.4) et (1.5), car elles ne sont pas linéaires [01].

I.9. Equations de l'écoulement de puissances dans les lignes

Quand la solution itérative des tensions est achevée, on peut calculer l'écoulement de puissance dans les lignes. Le courant de la branche entre les deux jeux de barres i et k , qui a le sens positif de i vers k est :

$$I_{ik} = (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i Y_p$$

avec Y_{ik} : l'admittance de la ligne

Y_p : L'admittance phase -terre (ou la mise à la terre ou admittance shunt).

$V_i Y_p$: La contribution du courant au jeu de barres due de la mise à la terre.

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_{ik}$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i^* V_i Y_p \quad (\text{Equ.1.7})$$

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^* (V_k - V_i)Y_{ik} + V_k^* V_k Y_p \quad (\text{Equ.1.8})$$

La perte de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres i et k est la somme algébrique de la répartition des puissances déterminées à partir des relations (1.7) et (1.8) [01].

I.10. Equations de l'écoulement de puissance (sous forme réelle)

On peut écrire les équations (1.6) comme suit :

$$S_1^* = P_1 - jQ_1 = V_1^* \sum_{k=1}^2 Y_{1k} V_k, \quad S_2^* = P_2 - jQ_2 = V_2^* \sum_{k=1}^2 Y_{2k} V_k$$

D'une manière plus compacte on à :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^2 Y_{ik} V_k \quad i=1,2 \quad (\text{Equ.1.9})$$

Chaque tension au jeu de barres V_i a une amplitude $|V_i|$ et un angle de phase θ_i ainsi que chaque élément de la matrice admittance est en général de type complexe donc on peut écrire

$$V_i = |V_i| \angle \theta_i, \quad Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \gamma_{ij}$$

D'ici on peut écrire les équations de l'écoulement de puissance

$$P_i - jQ_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \exp(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{Equ.1.10})$$

Séparons les parties réelles et imaginaires [01]

$$P_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \cos(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{Equ.1.11})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \sin(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{Equ.1.12})$$

$i=1,2$

Pour l'exemple à deux jeux de barres on à :

$$\begin{cases} P_1 = P_{G1} - P_{D1} = |Y_{11}| |V_1|^2 \cos(\gamma_{11}) + |Y_{12}| |V_1| |V_2| \cos(\theta_2 - \theta_1 + \gamma_{12}) = f_{1p} \\ P_2 = P_{G2} - P_{D2} = |Y_{22}| |V_2|^2 \cos(\gamma_{22}) + |Y_{21}| |V_1| |V_2| \cos(\theta_1 - \theta_2 + \gamma_{21}) = f_{2p} \\ Q_1 = Q_{G1} - Q_{D1} = -|Y_{11}| |V_1|^2 \sin(\gamma_{11}) - |Y_{12}| |V_1| |V_2| \sin(\theta_2 - \theta_1 + \gamma_{12}) = f_{1q} \\ Q_2 = Q_{G2} - Q_{D2} = -|Y_{22}| |V_2|^2 \sin(\gamma_{22}) - |Y_{21}| |V_1| |V_2| \sin(\theta_1 - \theta_2 + \gamma_{21}) = f_{2q} \end{cases} \quad (\text{Equ.1.13})$$

[01].

I.11. Quelques observations sur les équations de l'écoulement de puissance

Les observations concernant les équations du système (1.13) sont :

1. Les équations sont algébriques car elles représentent un système qui travaille en régime permanent.
2. Les équations son non linéaires, donc il est très difficile d'avoir des solutions analytiques, mais on peut obtenir facilement une solution numérique.
3. L'équilibre des puissances actives donne :

$$P_{G1} + P_{G2} = P_{D1} + P_{D2} + f_{1p} + f_{2p}$$

$$P_{G1} + P_{G2} = P_{D1} + P_{D2} + P_L$$

Où P_L : les pertes de puissances actives

4. De même l'équilibre de la puissance réactive donne :

$$Q_{G1} + Q_{G2} = Q_{D1} + Q_{D2} + f_{1q} + f_{2q}$$

$$Q_{G1} + Q_{G2} = Q_{D1} + Q_{D2} + Q_L$$

Où Q_L : les pertes de puissances réactives

5. $f_{1p}, f_{2p}, f_{1q}, f_{2q}$ sont des équations en fonction des tensions
6. Dans les équations du système (1.13) les angles de phase θ_1, θ_2 apparaissent sous forme de différence $(\theta_1 - \theta_2)$ et non θ_1 et θ_2 séparément.
7. D'après les équations du système (1.13) on a 12 variables, et par conséquent, il est impossible d'obtenir une solution pour n'importe quelle variable sauf si nous réduisons les nombres des inconnues et ceci par la fixation des valeurs de quelques variables [01].

I.12. Forme générale des équations de l'écoulement de puissance

Dans le cas générale, pour déterminer les équations de l'écoulement de puissance on considère que les puissances sont équilibrées au jeu de barres i , donc la puissance de jeu de barres sera égale :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = P_{Gi} - P_{Di} + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \tag{Equ.1.17}$$

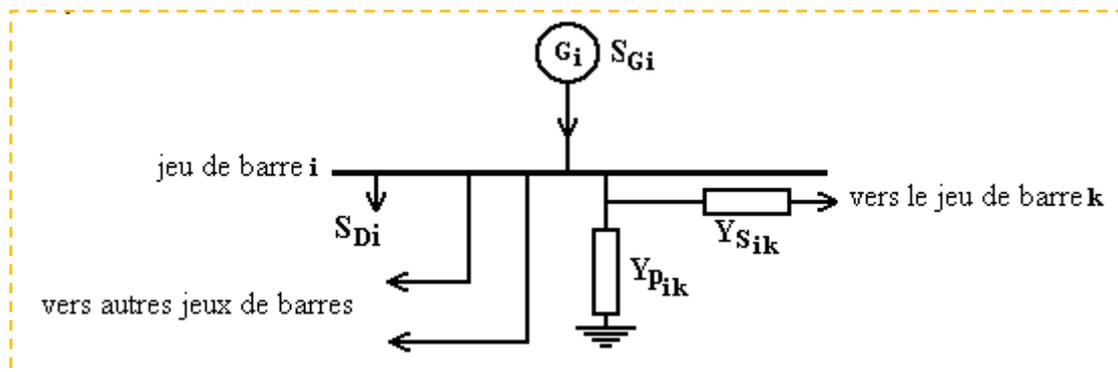
Les lignes de transmission connectent le jeu de barres i aux autres jeux de barres k dans le réseau électrique. Les points de connexion des branches des réseaux sont codés par des numéros désignant chaque jeu de barres. Ces nombres spécifient les arrivées des lignes de transmission et des transformateurs. Les numéros sont utilisés pour identifier les types de jeux de barres, l'emplacement des éléments du réseau (condensateurs, inductances shunts, et impédances). Un jeu de barres peut être connecté au maximum à $(n-1)$ jeux de barres. On peut représenter chacune de ces lignes par un schéma équivalent avec une admittance série Y_{Sik} et une admittance parallèle Y_{pik} . Si une ligne n'existe pas l'admittance sera égale à zéro. Par analogie, par les équations (1.1) et (1.2) on tire l'équation du courant [04]:

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = V_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{pik} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{Sik} \cdot (V_i - V_k) = V_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (Y_{pik} + Y_{Sik}) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (-Y_{Sik}) V_k \quad i=1, \dots, n$$

On peut écrire les équations sous la forme suivante :

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = Y_{i1} V_1 + Y_{i2} V_2 + \dots + Y_{ii} V_i + \dots + Y_{in} V_n$$

Où $Y_{ii} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (Y_{pik} + Y_{Sik})$ et $Y_{ik} = Y_{ki} = -Y_{Sik}$



(Fig. I.10) jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission [04].

Les vecteurs courant et tension sont d'ordre $(n \times 1)$:

$$I_{Bus} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \quad V_{Bus} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

Et les matrices d'admittance et d'impédance sont d'ordre $(n \times n)$:

$$Y_{Bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad Z_{Bus} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix}$$

Du fait que les puissances sont connues et les courants sont inconnus, donc les équations prendront des formes non linéaires :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{Equ.1.18})$$

Séparons la partie réelle et imaginaire de l'équation (1.18) on aura :

$$P_i = \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \cos(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) = f_{ip} \quad (\text{Equ.1.19})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \sin(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) = f_{iq} \quad (\text{Equ.1.20})$$

Ces équations expriment l'équilibre des puissances actives et réactives au jeu de barres i

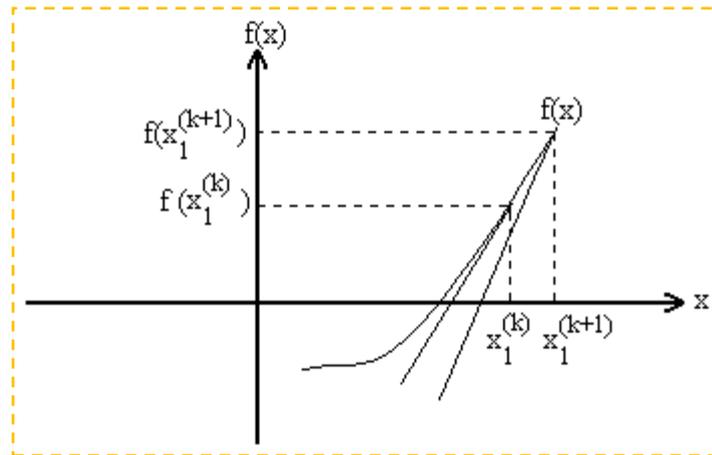
A cause de non linéarité des équations de l'écoulement de puissance, il est très difficile d'avoir des solutions analytiques. Pour cette raison, plusieurs méthodes numériques ont été proposées pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance, parmi les quelles on va discuter la méthode de Newton Raphson[04].

I.13. La technique itérative de Newton Raphson

La technique itérative de Newton Raphson converge avec une même vitesse, mesurée par le nombre d'itérations, pour les larges et courts systèmes, en moins de quatre à cinq itérations en général. C'est pour cette raison que la méthode de N-R est la plus utilisée pour l'étude des larges systèmes [05].

I.13.1. Représentation géométrique de la méthode de N-R

Elle est basée sur la détermination de la tangente à la courbe $f(x)$ en chaque point $(x^{(k)}, f(x^{(k)}))$. L'intersection de cette tangente avec l'axe des x fournit le point $x^{(k+1)}$, $(\Delta x^{(k)})$ étant une approximation de l'erreur commise sur x à l'itération (k) [05].



(Fig. I.11) Représentation géométrique de la méthode de N-R [04].

I.13.2. Algorithme de N-R dans un système de dimension n

Soit la fonction $f(x) = 0$ de dimension n , tel que :

$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \vdots \\ f_n(x) \end{bmatrix} \quad x^{(0)} = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} \\ \vdots \\ x_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

On estime que $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ sont les solutions de ces n équations. L'exposant (0) indique que ces valeurs sont des estimations initiales.

On désigne par $\Delta x_1^{(0)}, \Delta x_2^{(0)}, \dots, \Delta x_n^{(0)}$ les valeurs à ajouter à $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ pour trouver les solutions correctes.

Lorsqu'on développe toutes les fonctions en série de Taylor au voisinage du point d'estimation initiale on aura :

$$f_1(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = 0$$

$$f_2(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = 0$$

⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮

⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮

$$f_n(x^{(0)}) + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} \Delta x_1^{(0)} + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} \Delta x_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \Delta x_n^{(0)} = 0$$

On peut écrire le système de n équations linéaires comme suit :

$$\begin{bmatrix} f_1(x^{(0)}) \\ f_2(x^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)\big|_0 & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)\big|_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)\big|_0 \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)\big|_0 & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)\big|_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)\big|_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)\big|_0 & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)\big|_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)\big|_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \tag{Equ.1.21}$$

Les termes $\left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)\big|_0, \dots, \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)\big|_0$ correspond a la dérivée partielle évaluée avec les valeurs

$$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)} .$$

Ou dans une notation compacte : $f(x^{(0)}) + j^{(0)} \Delta x^{(0)} \approx 0$

La matrice carrée dite Jacobienne : $[J^{(0)}]$

De cette dernière équation on tire ensuite le vecteur erreur $\Delta x^{(0)} = -[j^{(0)}]^{-1} f(x^{(0)})$

Mais $\Delta x^{(0)} = x^{(1)} - x^{(0)}$ donc $x^{(1)} = x^{(0)} - [j^{(0)}]^{-1} f(x^{(0)})$

En général : $x^{(k+1)} = x^{(k)} - [j^{(k)}]^{-1} f(x^{(k)})$

[05].

I.13.3. Arrêt des opérations :

On a vu que théoriquement la solution n'est atteinte qu'après une infinité d'itérations. En pratique, on arrête les opérations pour l'un des tests suivants:

1. Si $f(x^{(k)})$ est quasiment nulle.
2. Si l'amélioration de $x^{(k)}$ d'une itération à la suivante ne justifie pas l'effort de calcul supplémentaire.
3. Si la convergence n'est pas obtenue avant un nombre d'itération fixe. Le processus est considéré comme non convergent pour l'estimation initiale ($x^{(0)}$) donnée [04].

I.13.4. Algorithme de N-R appliquée aux équations de l'écoulement de puissance

Le problème de l'écoulement de puissance peut être résolu par la méthode de N-R, qui utilise des équations non linéaires pour exprimer les puissances actives et réactives en fonction des tensions. Le problème peut être résolu en utilisant soit les coordonnées rectangulaires soit les coordonnées polaires [05].

I.13.4.1. Les coordonnées rectangulaires

La puissance au niveau de jeu de barres est donnée par : $P_i - jQ_i = V_i^* I_i$ (Equ.1.22)

puisque l'équation de performance du réseau est donnée par :

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS} \quad (\text{Equ.1.23})$$

$$\text{donc: } P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (\text{Equ.1.24})$$

On remplace: $V_i = e_i + jf_i$ et $Y_{ij} = G_{ij} - jB_{ij}$ dans l'équation (Equ.1.25)

$$P_i - jQ_i = (e_i - jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j + jf_j) \quad (\text{Equ.1.26})$$

Séparons les pertes réelles et imaginaires, on aura :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n (e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \\ Q_i = \sum_{j=1}^n (f_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \end{cases} \quad (\text{Equ.1.27})$$

Cette formulation conduit à un système d'équations instantanées non linéaires, deux pour chaque jeu de barres du système. Les puissances actives et réactives P_i et Q_i sont connues et les composantes réelles et imaginaires e_i et f_i sont des inconnues pour tout les jeux de barres sauf le jeu de barres de référence, ou la tension est spécifiée et reste constante. De cette façon nous aurons $2(n-1)$ équations à résoudre pour une solution de l'écoulement de puissance.

La méthode de N-R demande un système d'équations non linéaires exprimant la relation entre les variations des puissances actives et réactives et les composantes des tensions aux niveaux des jeux de barres comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \\ \vdots \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_1 \\ \vdots \\ \Delta e_{n-1} \\ \vdots \\ \Delta f_1 \\ \vdots \\ \Delta f_{n-1} \end{bmatrix} \quad (\text{Equ.1.28})$$

Ou d'une manière plus simple on aura :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \vdots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e \\ \vdots \\ \Delta f \end{bmatrix}$$

Les équations qui permettent de déterminer les éléments de la matrice Jacobienne peuvent être dérivées des équations des puissances aux jeux de barres. A partir de l'équation du système (1.27) la puissance active est donnée par :

$$P_i = e_i(e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) + f_i(f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \quad (\text{Equ.1.29})$$

$i=1,2,\dots, (n-1)$

Les éléments non diagonales de j_1 sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_j} = e_i G_{ij} - f_i B_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ.1.30})$$

Et les éléments diagonales de j_1 sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = 2e_i G_{ii} + f_i B_{ii} - f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (\text{Equ.1.31})$$

Cependant, l'équation du courant pour le jeu de barres i est :

$$I_i = c_i + j d_i = (G_{ii} - j B_{ii})(e_i + j f_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (G_{ij} - j B_{ij})(e_j + j f_j)$$

Qui peut être séparé en parties réelle et imaginaire :

$$\begin{cases} c_i = e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \\ d_i = f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \end{cases} \quad i=1,2,\dots, n \quad (\text{Equ.1.32})$$

Donc, les expressions des éléments de la diagonale peuvent être simplifiées par la substitution de la composante réelle du courant c_i dans l'équation (1.31) pour obtenir :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = e_i G_{ii} - f_i B_{ii} + c_i \quad (\text{Equ.1.33})$$

De (1.28), les éléments non diagonales de j_2 sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ.1.34})$$

Et les éléments diagonales de j_2 sont :

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + 2 f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (\text{Equ.1.35})$$

La composante imaginaire du courant de l'équation (1.31) est substituée dans (1.32) pour obtenir:

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + f_i G_{ii} + d_i \quad (\text{Equ.1.36})$$

La puissance réactive de l'équation du système (1.28) est :

$$Q_i = f_i (e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) - e_i (f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i (f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \quad (\text{Equ.1.37})$$

Les éléments non diagonales de j_3 sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ.1.38})$$

Les éléments diagonales de j_3 sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i G_{ii} - f_i G_{ii} + 2 e_i B_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (\text{Equ.1.39})$$

La composante imaginaire du courant de l'équation du système (1.32) est substituée dans l'équation (1.39) pour obtenir :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i G_{ii} e_i B_{ii} + f_i G_{ii} - d_i \quad (\text{Equ.1.40})$$

De l'équation (1.37), les éléments non diagonales de j_4 sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_j} = -e_i G_{ij} + f_i B_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ.1.41})$$

Les éléments diagonales de j_4 sont :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = e_i G_{ii} + 2 f_i B_{ii} - e_i G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (\text{Equ.1.42})$$

La composante réelle du courant est substituée dans le système d'équation (1.32) pour obtenir :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = -e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + c_i \quad (\text{Equ.1.43})$$

Pour une estimation donnée des tensions aux jeux de barres, Les puissances actives et réactives sont calculées à partir des équations du système (1.26). Les écarts dans la puissance sont les différences entre les valeurs estimées et calculées.

$$\begin{aligned} \Delta P_i^{(k)} &= P_i - P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} &= Q_i - Q_i^{(k)} \end{aligned} \quad i=1,2, \dots, n-1 \quad (\text{Equ.1.44})$$

Les tensions estimées aux jeux de barres et les puissances calculées sont utilisées pour calculer les courants aux jeux de barres par ordre pour calculer les éléments du Jacobien. Le système d'équations linéaires (1.28) peut être résolue pour Δe_i et Δf_i , $i=1,2,\dots, n$, par une méthode directe ou itérative. En suite les nouvelles estimations des tensions aux jeux de barres

sont :

$$\begin{aligned} e_i^{(k+1)} &= e_i^{(k)} + \Delta e_i^{(k)} \\ f_i^{(k+1)} &= f_i^{(k)} + \Delta f_i^{(k)} \end{aligned}$$

Le processus est répété jusqu'à ce que $\Delta P_i^{(k)}$ et $\Delta Q_i^{(k)}$, soient inférieur à la tolérance spécifiée [05].

I.13.4.2. Les coordonnées polaires

En coordonnées polaires on à :

$$V_i = |V_i| \exp(j\theta_i) \quad \text{et} \quad Y_{ij} = |Y_{ij}| \exp(-j\gamma_{ij})$$

Remplaçons dans l'équation (1.25), la puissance au jeu de barres i est :

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \exp(-j(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j))$$

Sachant que :

$$\exp(-j(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j)) = \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) - j \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Les composantes actives et réactives de la puissance sont :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad (\text{Equ.1.45})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j)$$

Les éléments de la matrice Jacobienne qui sont calculées à partir des équations du système (1.45) sont :

$$\begin{aligned} \text{Pour } j_1 : \quad \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} &= |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i & \quad (\text{Equ.1.46}) \\ \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} &= -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour } j_2 : \quad \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} &= |V_i Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i & \quad (\text{Equ.1.47}) \\ \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} &= 2|V_i Y_{ii}| \cos(\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned}$$

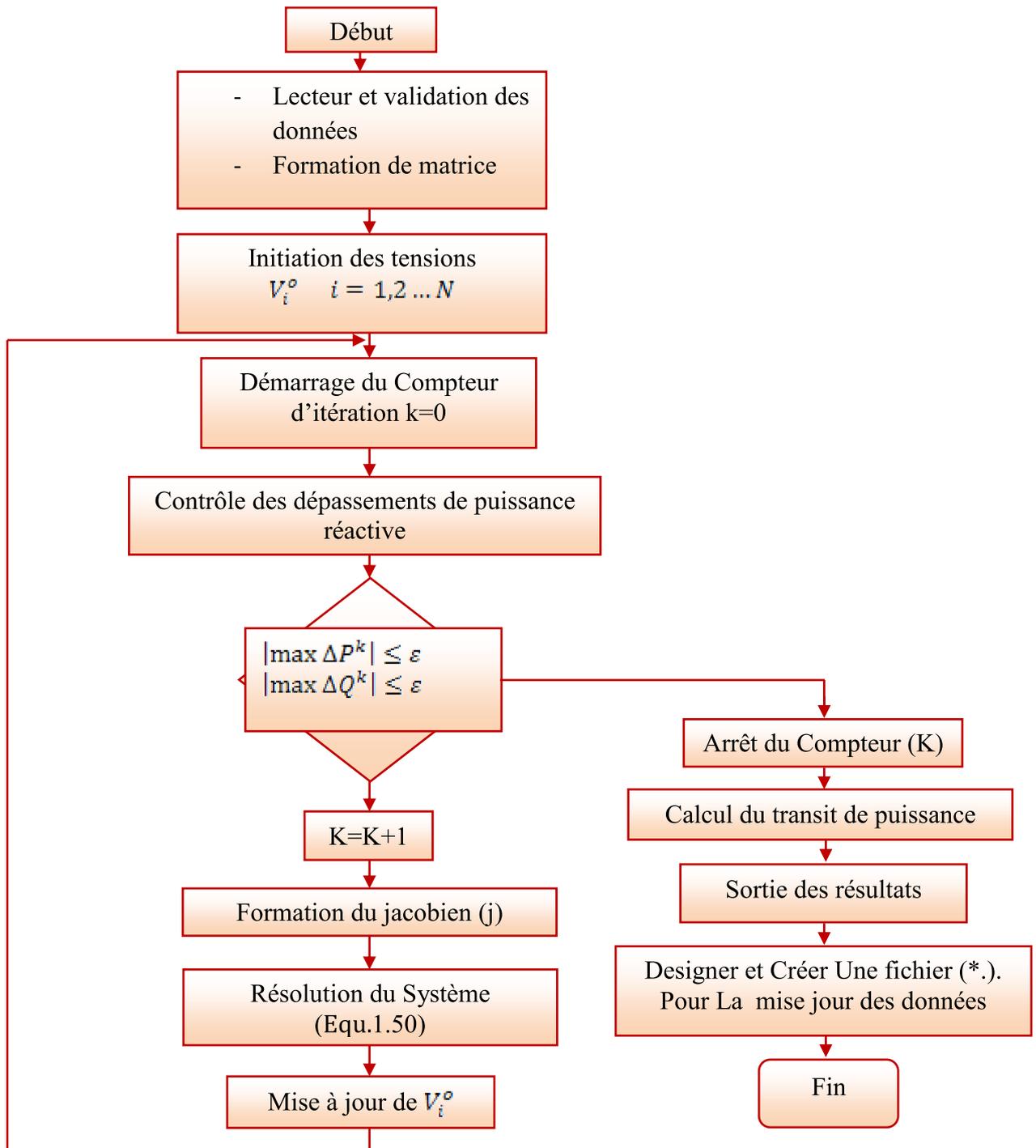
$$\begin{aligned} \text{Pour } j_3 : \quad \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} &= -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i & \quad (\text{Equ.1.48}) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} &= \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour } j_4 : \quad \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} &= |V_i Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) & j \neq i & \quad (\text{Equ.1.49}) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} &= 2|V_i Y_{ii}| \sin(\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{aligned}$$

L'équation liant les variations des puissances aux variations des amplitudes de la tension et les angles de phase pour la méthode de N-R est donnée par [05] :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \dots & \vdots & \dots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \dots \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (\text{Equ.1.50})$$

I.13.5. Organigramme de la méthode de Newton Raphson



(Fig. I.12) Organigramme de la méthode de N-R [04].

1.14. Méthode de Gauss-Seidel

Cette méthode se considère l'une des plus simple des méthodes itératives, à savoir que la méthode la plus efficace est la méthode de Newton-Raphson, mais la méthode de Gauss-Seidel s'intervient pour les raisons suivantes:

- 1-Elle possède une valeur scientifique sûre grâce à sa simplicité.
- 2-Elle est utilisée dans les systèmes à faible puissance, dans les quelles les programmes sont simples.
- 3-Elle s'utilise dans nombreux cas des grands systèmes pour obtenir une solution approximative [12].

1.14.1. Principe de la méthode de Gauss Seidel

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

Il faut changer cette formule par $X=g(x)$, il est toujours possible de trouver une fonction $g(x)$, telle que : $X=g(x)$ « $g(x)$ n'est pas unique »

On estime une valeur initiale X_0 ; $X_1 = g(X_0)$, $X_2 = g(X_1)$, $X_{j+1} = g(X_j)$ où k est le numéro d'itération.

Le processus itératif se termine si la différence entre deux valeurs successives vérifie le test de Convergence : $|x_{j+1} - x_j| < \varepsilon$

ε : tolérance choisie [12].

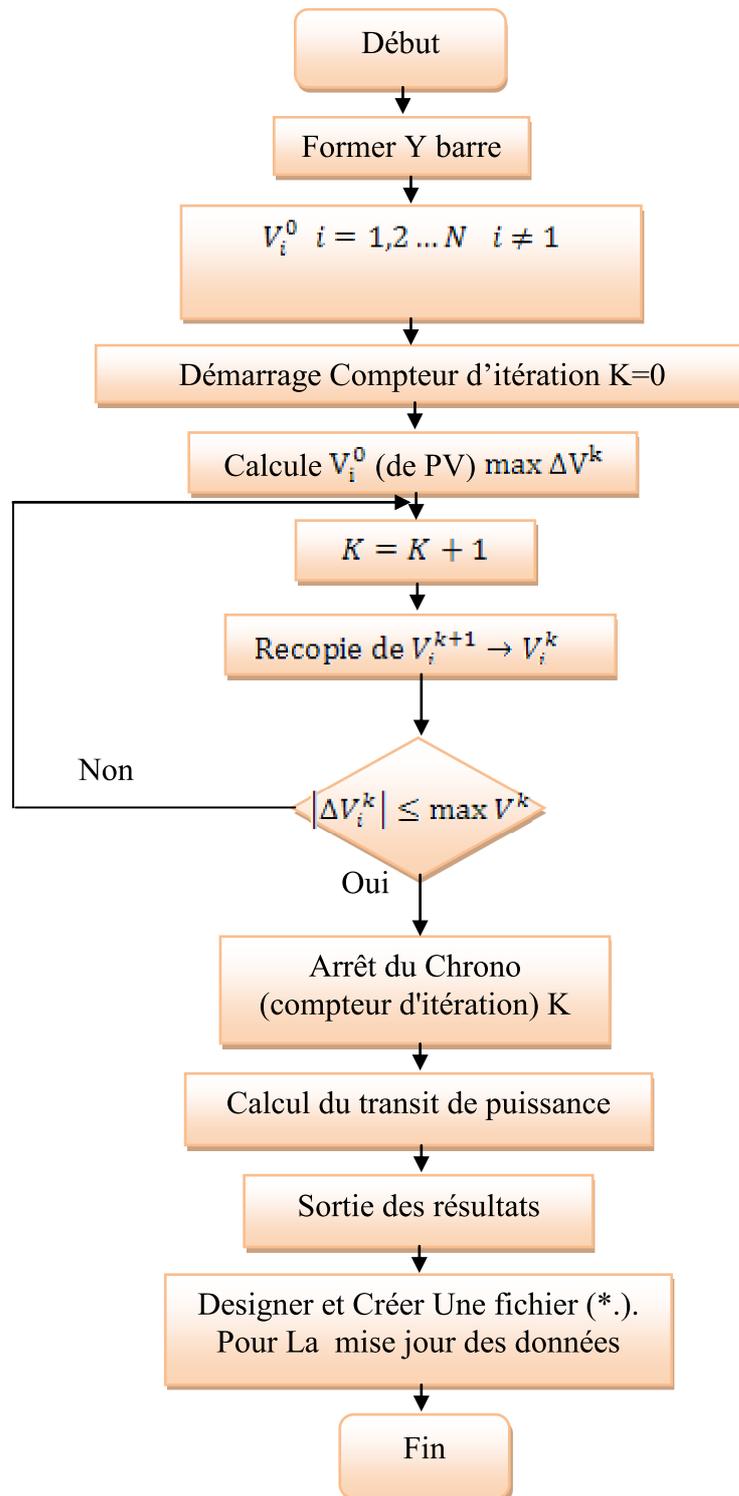
1.14.2. Application à la solution des équations de l'écoulement de puissance

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j \quad (\text{Equ.1.51})$$

$$\text{On a alors : } V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \frac{P_i - jQ_i}{V_i^k} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} \cdot V_j \quad (\text{Equ.1.52})$$

$$\text{Donc : } V_i^{k+1} = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^k} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} \cdot V_j \right] \quad (\text{Equ.1.53})$$

I.14.3. Organigramme de la méthode de Gauss Seidel



(Fig. I.13) Organigramme de la méthode de G-S [12].

Conclusion

Dans ce chapitre on a vu un bref aperçu sur la nécessité du calcul de l'écoulement de puissance, où on a formulé le calcul de l'écoulement de puissance, et on a dit que ce problème ne peut pas être résolu facilement par la main à cause de la pluralité des variables ; puis on a proposé de chercher des résultats de ce problème à l'aide des méthodes numériques.

Nous avons dit qu'il existe plusieurs méthodes numériques pour le calcul de l'écoulement de puissance, et on a formulé ce problème juste par les deux plus utilisables méthodes, la méthode de Gauss-Seidel et celle de Newton-Raphson ; où on a choisi cette dernière grâce à ces avantages, pour continuer notre travail à étudier le problème de l'analyse et amélioration de l'écoulement de puissance.



CHAPITRE II.

ETUDE DE DISPOSITIFS FACTS

Introduction

Ces dernières années les réseaux électriques ont déjà connu un accroissement considérable des interconnexions et ont été exploités de plus en plus près de leurs limites de stabilité et de sécurité en raison des contraintes économiques et d'une opposition croissante à la construction de nouveaux ouvrages (lignes, centrales) dans des zones à forte densité de population.

Les perturbations inévitables telles que les courts-circuits, les indisponibilités momentanées de lignes, de générateurs ou de transformateurs ainsi que les pertes dans les lignes et les aléas de consommation peuvent affecter le réseau à tout instant et l'amener en dehors de sa zone de stabilité.

Les moyens classiques de contrôle des réseaux pourraient dans l'avenir s'avérer trop lents et insuffisants pour répondre efficacement aux perturbations du réseau [14].

Les systèmes de transmission de courant alternatif (FACTS) sont des dispositifs électroniques de puissance qui assurent le contrôle des paramètres du circuit de transmission de courant alternatif et, ainsi, permettent d'optimiser le pilotage et d'augmenter la capacité de transit de puissance. Les contrôleurs FACTS sont généralement considérés comme étant un moyen pratique de réglage de puissance pour améliorer la performance statique et dynamique de réseaux électriques sous régime d'exploitation normal et anormal.

Le recours aux appareils FACTS peut être une solution efficace pour éliminer ou, au moins, atténuer les contraintes de transmission qui réduisent la capacité de transfert. Vu la nature des dispositifs électroniques de puissance, les solutions FACTS seront justifiées à chaque fois que l'application exigera un ou plusieurs des attributs suivants: réaction rapide, variation fréquente de débit et/ou débit ajustable sans à-coups.

Les contrôleurs FACTS optimisent la performance statique (par ex. alimentation croissante, gestion de congestion, pertes réseau réduites etc.) et la performance dynamique (par ex. seuils de stabilité supérieurs, amortissement de l'oscillation réseau, etc.)[15].

II.1. Dispositifs FACTS

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

Avec leurs aptitudes à modifier les caractéristiques apparentes des lignes, les FACTS sont capables d'accroître la capacité du réseau dans son ensemble en contrôlant les transits de puissances. Les dispositifs FACTS ne remplacent pas la construction de nouvelles lignes. Ils sont un moyen de différer les investissements en permettant une utilisation plus efficace du réseau existant [19, 20].

II.2. Classification des dispositifs FACTS

Depuis les premiers compensateurs, trois générations de dispositifs FACTS ont vu le jour. Elles se distinguent par la technologie des semi-conducteurs et des éléments de puissance utilisés.

A- La première génération est basée sur les thyristors classiques. Ceux-ci sont généralement utilisés pour enclencher ou déclencher les composants afin de fournir ou absorber de la puissance réactive dans les transformateurs de réglage.

B- La deuxième génération, dite avancée, est née avec l'avènement des semi-conducteurs de puissance commandables à la fermeture et à l'ouverture, comme le thyristor GTO. Ces éléments sont assemblés pour former les convertisseurs de tension ou de courant afin d'injecter des tensions contrôlables dans le réseau.

C- Une troisième génération de FACTS utilisant des composants hybrides et qui est adaptée à chaque cas. Contrairement aux deux premières générations, celle-ci n'utilise pas de dispositifs auxiliaires encombrants tels que des transformateurs pour le couplage avec le réseau.

Dans notre proposition, une autre classification des contrôleurs FACTS basée sur les cinq caractéristiques indépendantes :

1. Selon le type de Raccordement sur le réseau (Connexion).
2. Selon le mode de Commutation.

3. Selon la Fréquences de Commutation.
4. Selon le mode de Stockage d'énergie.
5. Selon le mode de Connexion au Port DC.

Selon ces critères, trois familles de dispositifs FACTS peuvent être mises en évidence.

- Les dispositifs shunt connectés en parallèle dans les postes du réseau.
- Les dispositifs séries insérés en série avec les lignes de transport.
- Les dispositifs combinés série-parallèle qui recourent simultanément aux deux couplages

II.2.1. Dispositifs FACTS Shunt

Parmi les dispositifs shunt on peut citer :

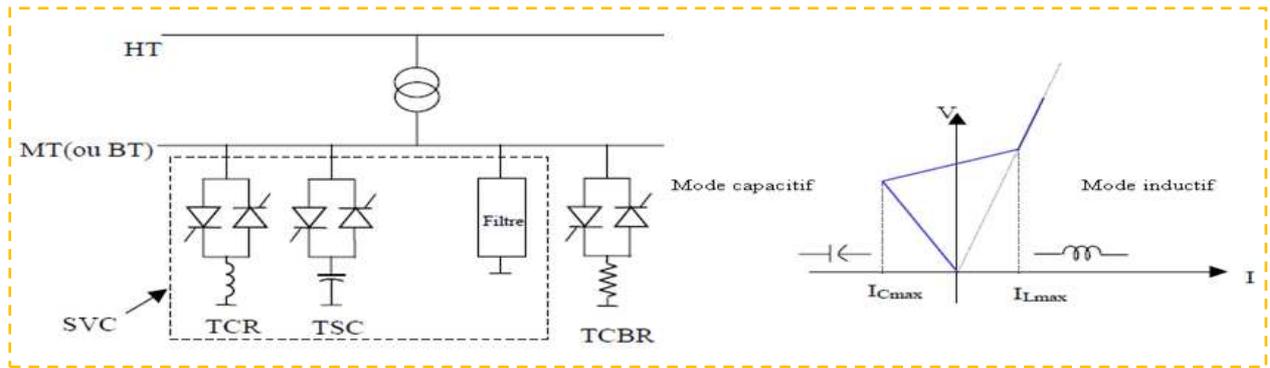
II.2.1.1. Compensateur statique de puissance réactive SVC

L'association des dispositifs TCR, TSC, bancs de capacités fixes et filtres d'harmoniques constitue le compensateur hybride, plus connu sous le nom de SVC [18]. IEEE définit le SVC (Static Var Compensator) comme un générateur (ou absorbeur) statique d'énergie réactive, shunt, dont la sortie est ajustée en courant capacitif ou inductif afin de contrôler des paramètres spécifiques du réseau électrique, typiquement la tension des nœuds [19].

Le compensateur statique de puissance réactive SVC est le premier dispositif FACTS qui apparaît dans les années 1970 pour répondre à des besoins de stabilisation de tension rendue fortement variable du fait de charges industrielles très fluctuantes telles les laminoirs et les fours à arc. Les SVC sont des FACTS de première génération. Ils utilisent des thyristors classiques, commandables uniquement à l'amorçage [20].

La caractéristique statique est donnée sur la figure ci dessous. Trois zones sont distinctes :

- une zone où seules les capacités sont connectées au réseau,
- une zone de réglage où l'énergie réactive est une combinaison des TCR et des TSC.
- une zone où le TCR donne son énergie maximale (butée de réglage),
- les condensateurs sont déconnectés [18].

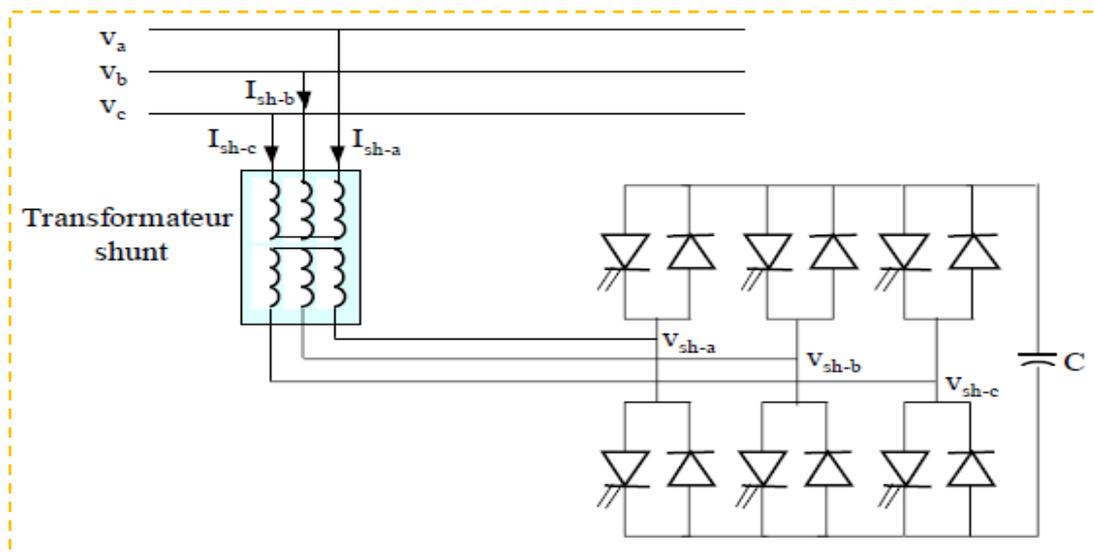


(Fig. II.1) A : Schéma du SVC et TCBR [18]. B : Caractéristique d'un SVC [18].

II.2.1.2. Compensateur statique synchrone (STATCOM)

IEEE définit le STATCOM (Static Synchronous Compensator) comme un générateur synchrone fonctionnant comme un compensateur parallèle de l'énergie réactive dont le courant capacitif ou inductif généré peut être contrôlé séparément de la tension du réseau [19].

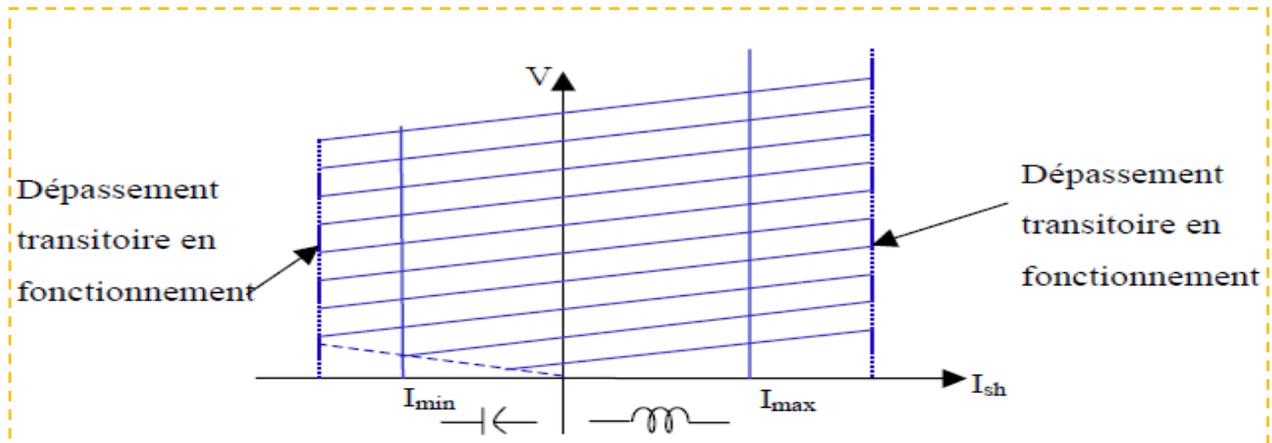
Le compensateur statique synchrone STATCOM, autrefois appelé compensateur statique de puissance réactive avancé fait partie de la deuxième génération des FACTS. Il correspond à l'équivalent statique exact de la machine synchrone classique fonctionnant en compensateur, mais sans inertie. Il est principalement utilisé pour la compensation dynamique des réseaux, afin de faciliter la tenue de tension, d'accroître la stabilité en régime transitoire et d'amortir les oscillations de puissance [20].



(Fig. II.2) Schéma de base de STATCOM [21].

L'avantage de ce dispositif est de pouvoir échanger de l'énergie de nature inductive ou capacitive uniquement à l'aide d'une inductance. Contrairement au SVC, il n'y a pas d'élément

capacitif qui puisse provoquer des résonances avec des éléments inductifs du réseau. La caractéristique statique de ce convertisseur est donnée par la (figure. II.3). Ce dispositif a l'avantage, contrairement au SVC, de pouvoir fournir un courant constant important même lorsque la tension V diminue [21].



(Fig. II.3) Caractéristique de STATCOM [21].

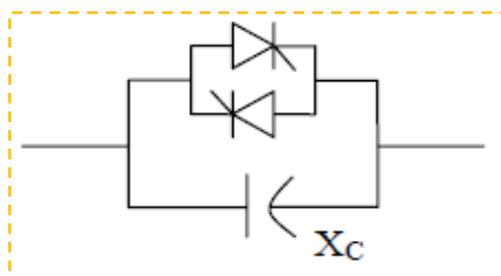
II.2.2. Dispositifs FACTS Série

Parmi les dispositifs shunt on peut citer :

II.2.2.1. Compensateur série commuté par thyristor (TSSC)

IEEE définit le TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor) comme un compensateur capacitif qui se compose de plusieurs condensateurs en série. Chaque condensateur commandé par un commutateur de thyristor qui assure une compensation par palier [19].

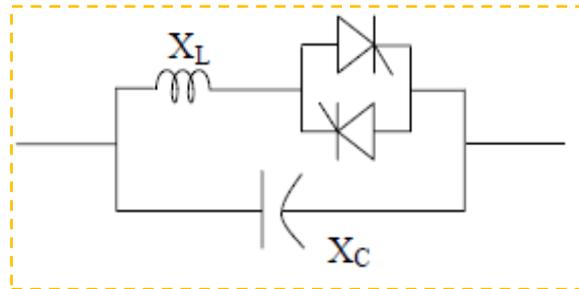
Le Compensateur série commuté par thyristor TSSC, est le premier qui apparaît dans la famille des compensateurs série. Il est constitué de plusieurs capacités montées en série, chacun étant shunté par une valve à thyristors montée en dérivation [20].



(Fig. II.4) Caractéristique de TSSC [21].

II.2.2.2. Compensateur série commandé par thyristor (TCSC)

IEEE définit le TCSC comme étant un compensateur à réactance capacitif qui consiste en une série de condensateurs en parallèle avec des inductances commandées par thyristor afin de pouvoir assurer une variation homogène de la réactance capacitive [19]. Le TCSC permet une compensation qui varie entre 20% inductive et 80% capacitive [22].



(Fig. II.5) Caractéristique de TCSC [21].

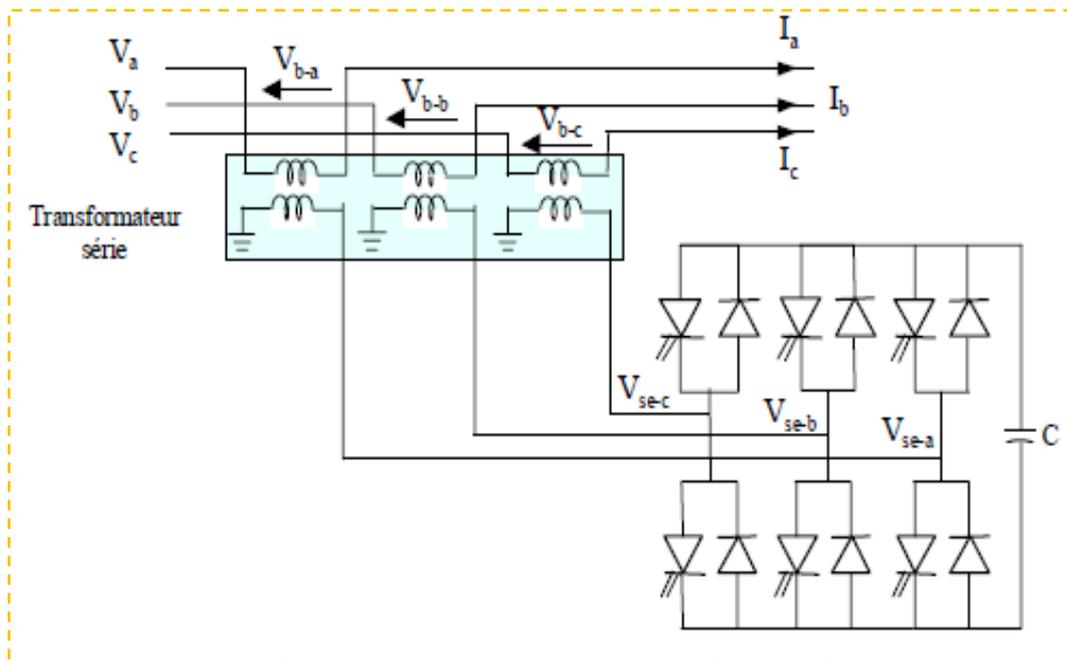
II.2.2.3. Compensateur série synchrone (SSSC)

IEEE définit le SSSC (Static Synchronous Series Compensator) comme étant un générateur synchrone statique fonctionnant sans source d'énergie électrique extérieure comme les compensateurs série, dont la tension de sortie est contrôlable indépendamment du courant de ligne afin d'augmenter ou de diminuer la chute de tension globale, et ainsi de contrôler la puissance électrique transmise [19].

Le compensateur série synchrone SSSC est un dispositif FACTS de deuxième génération. Il est formé d'un convertisseur de tension inséré en série dans la ligne par l'intermédiaire d'un transformateur. Le SSSC agit sur le courant de la ligne en insérant une tension en quadrature avec ce dernier, la tension pouvant être capacitive ou inductive. Un SSSC est capable d'augmenter ou de diminuer le flux de puissance dans une ligne. Le comportement d'un SSSC peut être assimilé à celui d'un condensateur ou d'une inductance série réglable. La différence principale réside dans le fait que la tension injectée n'est pas en relation avec le courant de ligne [20].

De ce fait, le SSSC présente l'avantage de pouvoir maintenir la valeur de tension insérée constante, indépendamment du courant. Il est donc efficace tant pour des petites charges (faibles courants) que pour des grandes charges. Un autre avantage du SSSC réside dans le fait que ce type de compensateur n'insère pas de condensateur en série avec la ligne de transport. De ce fait,

il ne peut pas provoquer de résonance hypo synchrone. De plus sa taille est réduite en comparaison au celle du TCSC [20].



(Fig. II.6) Schéma de base du SSSC [20].

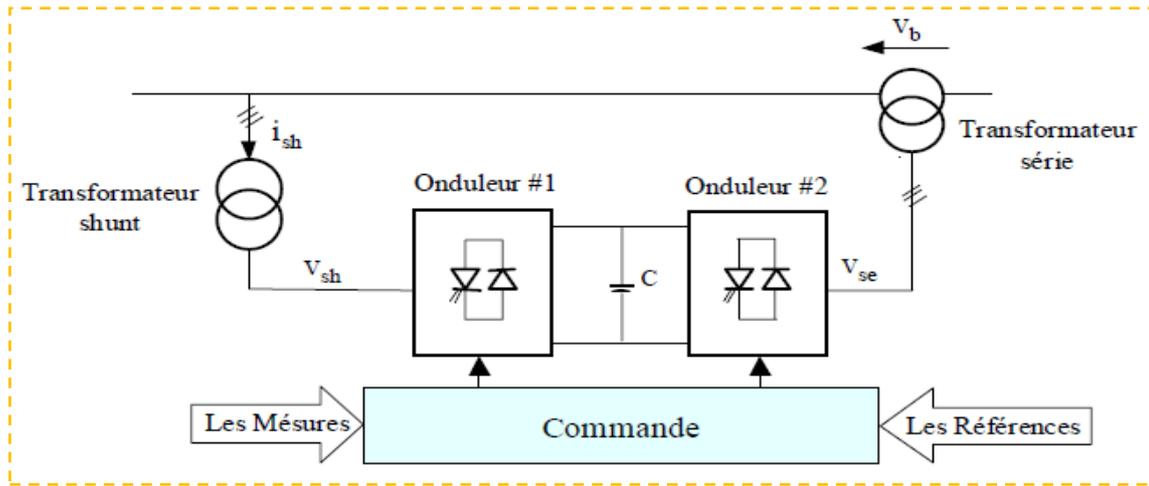
II.2.3. Dispositifs FACTS Série parallèle (hybride)

Parmi les dispositifs shunt on peut citer :

II.2.3.1. Contrôleur de transit de puissance universel (UPFC)

IEEE définit l'UPFC comme étant une combinaison entre un STATCOM et un SSSC couplés via une liaison à courant continu, pour permettre un écoulement bidirectionnel de la puissance active entre la sortie du SSSC et celle du STATCOM. L'UPFC permet le contrôle de la tension, de l'impédance, et de l'angle ou d'écoulement de la puissance active et réactive de la ligne [19], et l'UPFC peut être utilisé particulièrement pour :

- Réglage de la tension.
- Contrôle de flux de puissance active et réactive.
- Amélioration de la stabilité.
- Limitation des courants de court-circuit.
- Amortissement des oscillations de puissance [20].



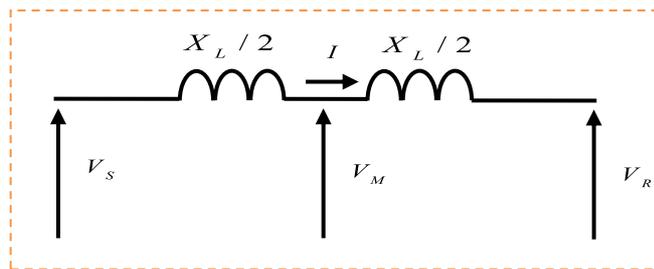
(Fig. II.7) Schéma de base de l'UPFC [21].

II.3. Principes de fonctionnement des FACTS

Nous nous intéresserons qu'aux principaux dispositifs FACTS cités plus haut. Ces derniers sont des compensateurs shunts. Série et des. Pour cela prendrons L'exemple d'une ligne de transport dans la quelle sont insérés des dispositifs [25].

II.3.1. Ligne de transport seul

On considère une ligne de transport, que l'on peut décomposer en deux demis - lignes d'impédance $X_L / 2$



(Fig. II.8) Modèle simplifié de la ligne [01].

V_S : Tension aux bornes de la source.

V_R : Tension aux bornes du récepteur.

V_M : Tension au milieu de la ligne.

x_L : Impédance (réactance) de la ligne.

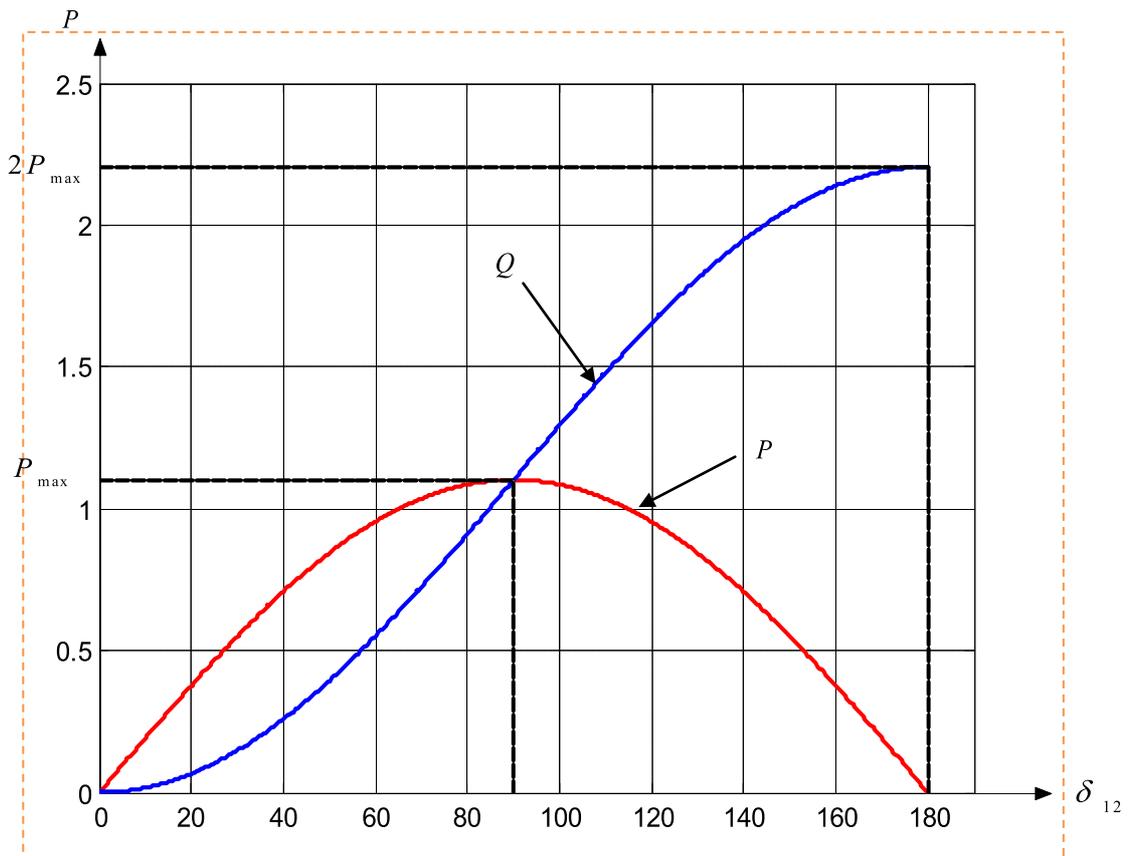
I : Courant de ligne.

On considère que les tensions à chaque extrémité de la ligne sont égale à V et que le déphasage entre elle est δ_{12} . La puissance transmise sur la ligne, est alors donnée par l'équation (II-1) :

$$P = \frac{V^2}{X_L} \sin \delta_{12} \tag{Equ. II.1}$$

La puissance réactive est donnée par l'équation (II-2)

$$Q = \frac{V^2}{X_L} (1 - \cos \delta_{12}) \tag{Equ. II.2}$$

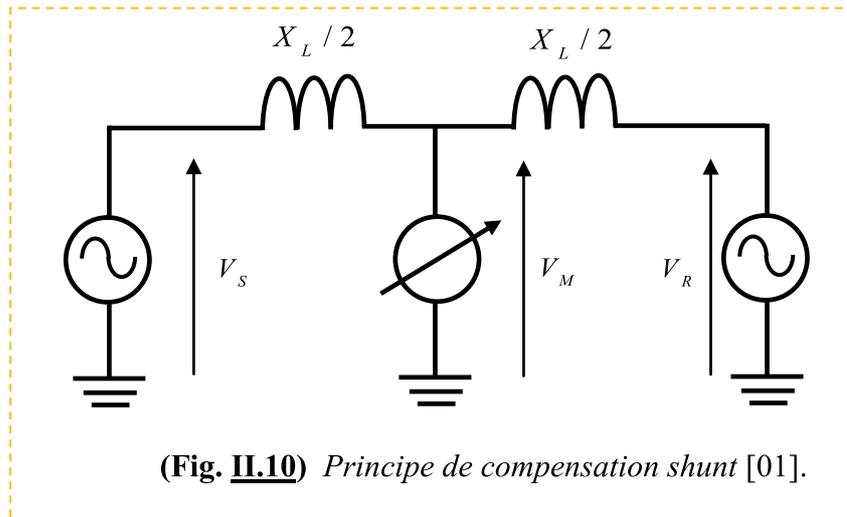


(Fig. II.9) Courbe de puissance active et réactive en fonction de l'angle de transmission [01].

II.3.2. Principe de la Compensation shunt

On insère maintenant au milieu de la ligne un compensateur d'énergie réactive idéal. Ce dispositif permet de maintenir la tension V_M à la tension V , en contrôlant le flux de puissance réactive (Figure (II.10)). En effet, la chute de la tension à travers une ligne est donnée par la relation en négligeant le terme résistif de la ligne [25].

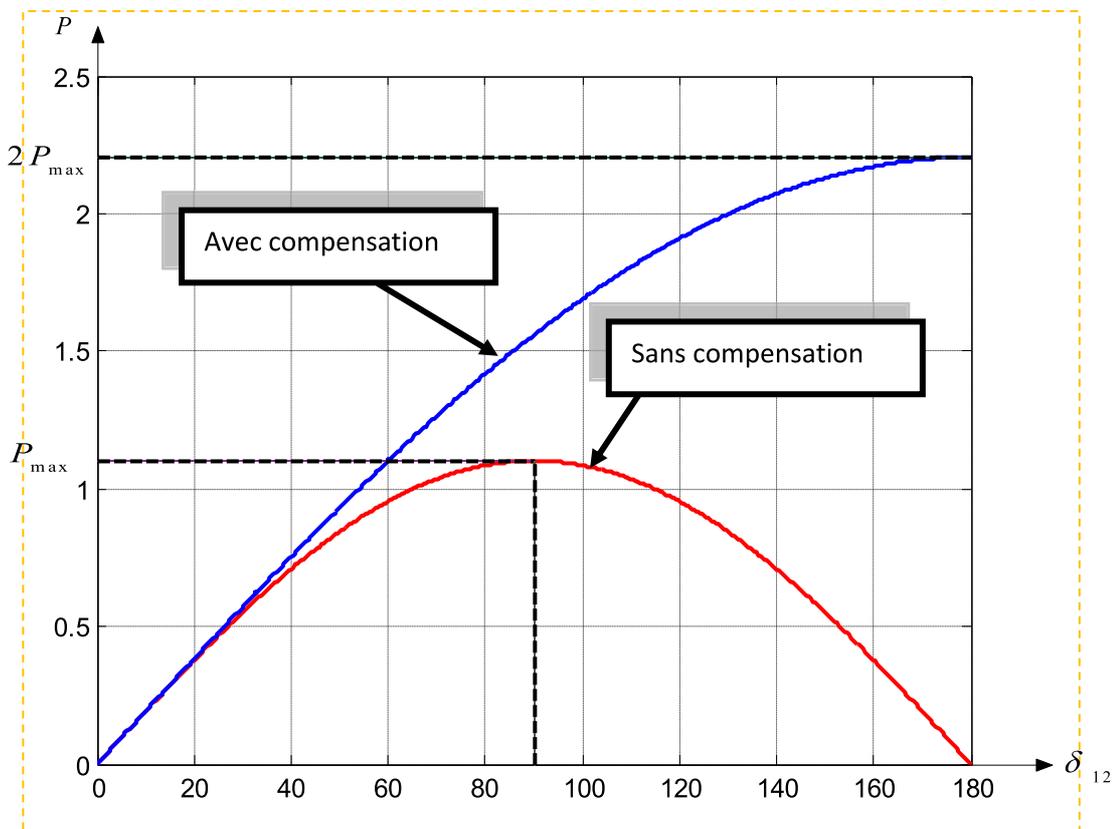
$$\Delta V = \frac{X_L Q}{V} \tag{Equ. II.3}$$



(Fig. II.10) Principe de compensation shunt [01].

L'équation (II-4) donne l'expression de la puissance transmise par la ligne compensée. On remarquera que la puissance maximal transite est doublée et est obtenu pour un déphasage $\delta_{12} = 180^\circ$ Figure (II.11). Une compensation shunt permet donc de doubler le transit de puissance maximal d'une ligne [25].

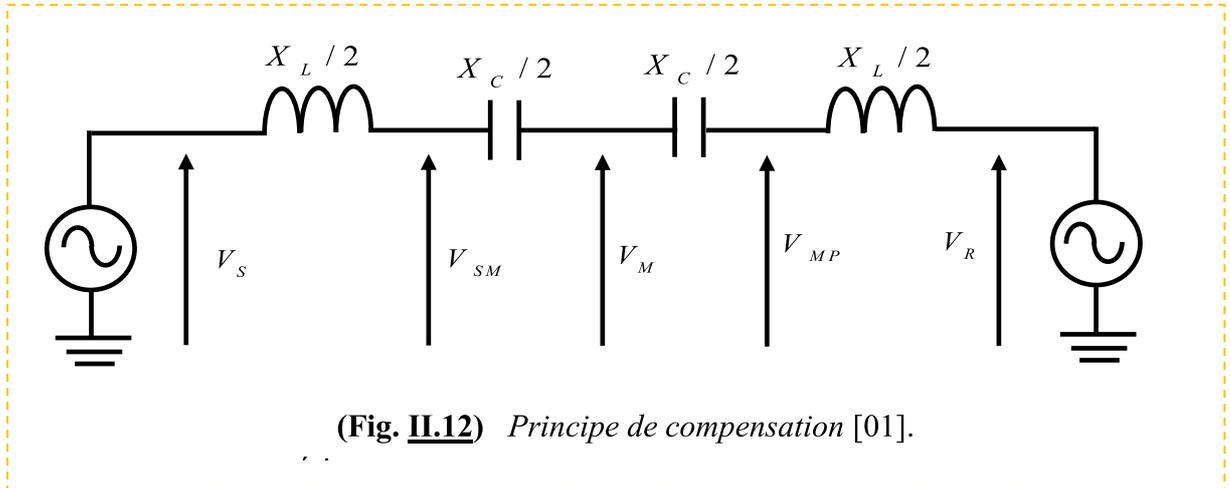
$$P = \frac{2V^2}{X_L} \sin \frac{\delta_{12}}{2} \tag{Equ. II.4}$$



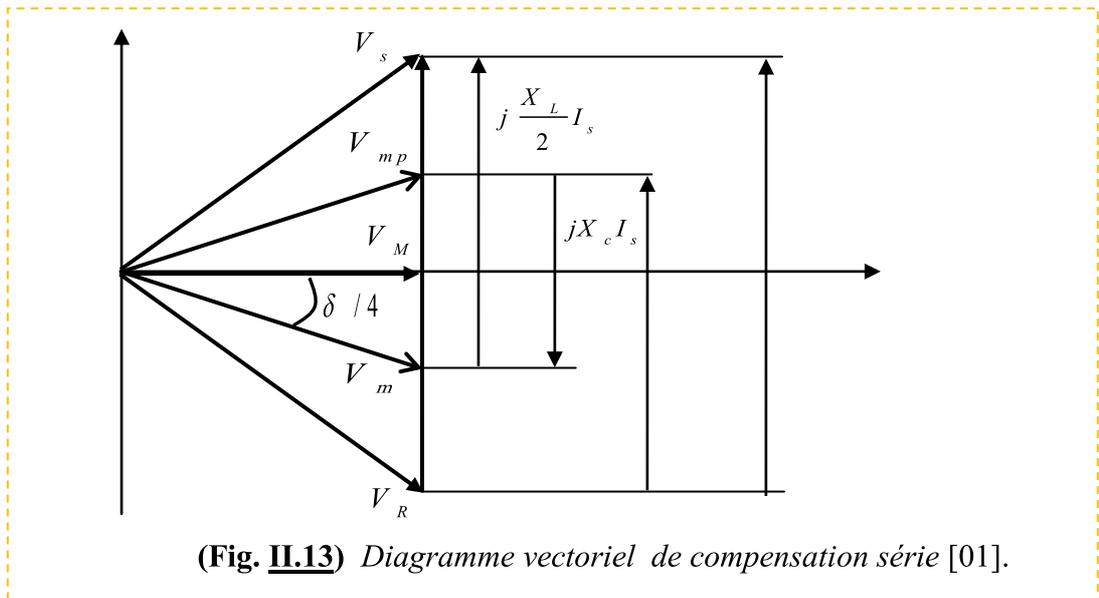
(Fig. II.11) Courbe de puissance avec et sans compensation shunt en fonction de l'angle de transmission [01].

II.3.3. Principe de la compensation séries

Cette compensation a pour principe d'insérer une réactance sur la ligne toujours dans le but d'en augmenter la puissance transmissible. La ligne étant modélisée par une réactance de type inductif, on comprend aisément que l'on diminue cette réactance en ajoutant une réactance de type capacitif. En conservant le même modèle de ligne. On obtient la compensation série donnée par suivant [25] :



(Fig. II.12) Principe de compensation [01].



(Fig. II.13) Diagramme vectoriel de compensation série [01].

Une modification de X_L augmentera ou diminuera le flux de puissance active pour un angle de phase fixe. De même, la puissance réactive sera modifiée suite à une modification de X_L . La réactance introduite aura la valeur X_C , donnée par l'équation (II-5).

$$X_C = S X_L \tag{Equ. II.5}$$

S est degré de compensation $0 \leq S \leq 1$

L'impédance totale entre le récepteur et la source est maintenant donné par l'équation

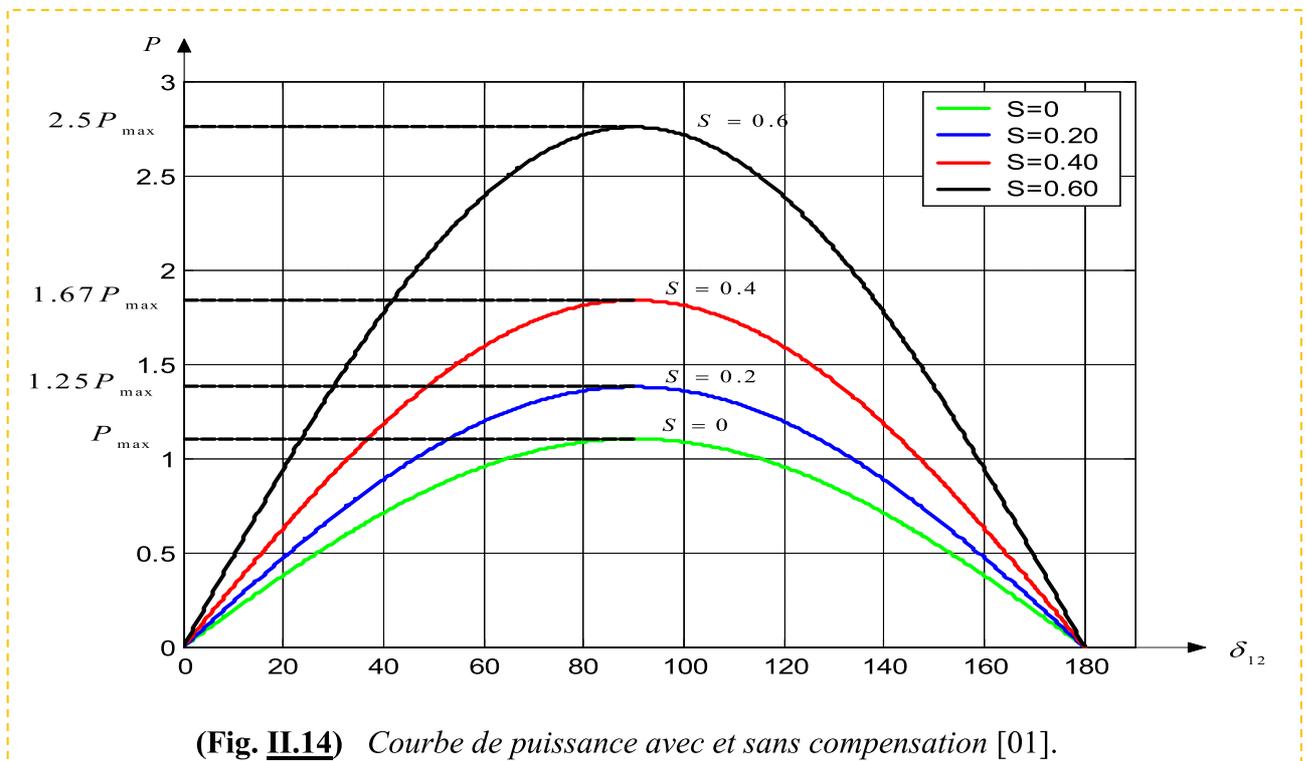
(II-6). La puissance transmise, exprimée par l'équation (II-7).

Est alors fonction du degré de compensation S (Figure (II-14)).

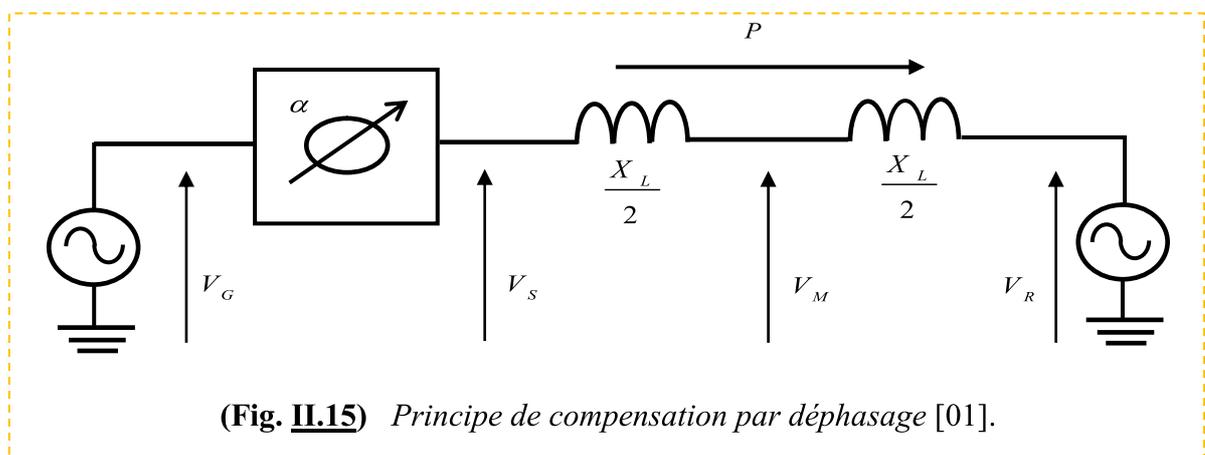
$$X_{TOTAL} = X_L - X_C = (1 - S) X_L. \tag{Equ. II.6}$$

$$P = \frac{V^2}{X_L (1 - S)} \sin(\delta_{12}) \tag{Equ. II.7}$$

Avec ce type de compensation, les condensateurs doivent échanger de l'énergie réactive en quantité importante. Les propriétés sont similaires à celles des compensateurs d'énergie réactive [25].



II.3.4. Principe de la compensation par déphasage

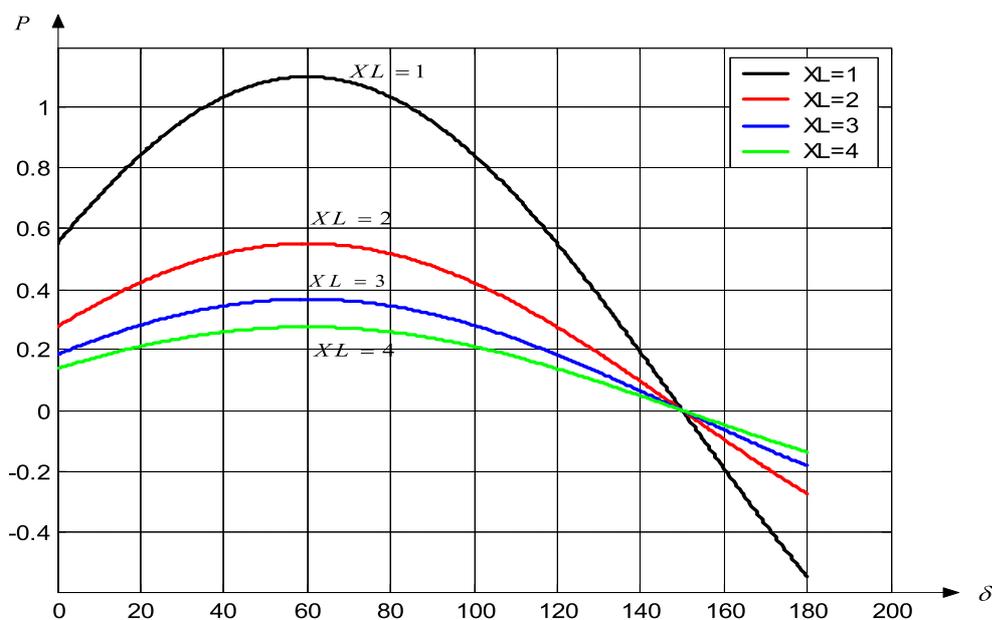


Le principe de cette compensation est basé sur l'insertion d'un déphaseur sur la ligne. Ce dispositif est modélisé par une source de tension, d'amplitude et phase variables. On peut alors avoir en sortie du déphaseur une tension V_s de même amplitude qu'à l'entrée V_G mais déphasée de l'angle α suivant comme la page précédente.

La puissance transmissible sur la ligne est alors fonction de l'angle déphasage α (équation (II-8)).

$$P = \frac{V^2}{X_L} \sin(\delta + \alpha) \quad (\text{Equ. II.8})$$

Pour ce type de compensation, la puissance maximale n'est pas augmentée, mais le réglage de α permet le réglage transit de puissance. Ce dispositif fonctionne finalement comme une vanne électronique.



(Fig. II.16) Compensation par déphasage pour $\alpha = \frac{\pi}{6}$ [01].

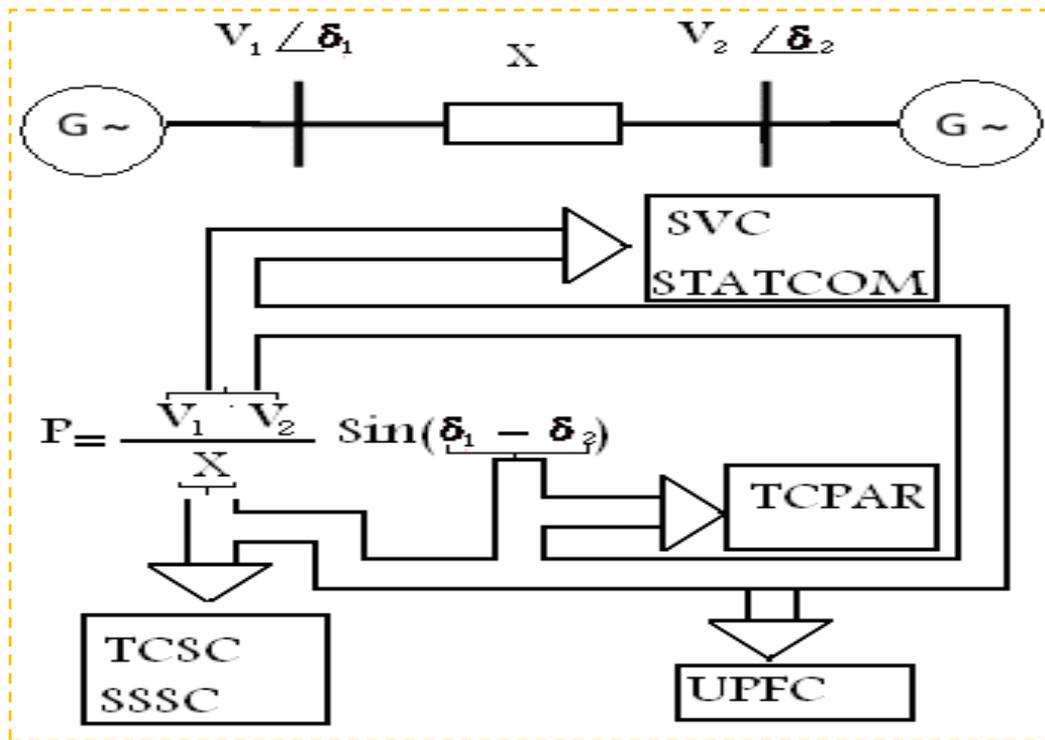
II.4. Coût des dispositifs FACTS

Mis à part les avantages techniques apportés par les FACTS, d'autres critères liés au coût doivent être pris en considération dans la décision d'installer un dispositif. Sur le plan économique, le critère généralement adopté dans l'évaluation des bénéfices obtenus par un FACTS est que l'accroissement des revenus doit excéder les coûts d'exploitations, de maintenance et d'amortissement de l'installation.

Le coût d'une installation FACTS dépend principalement des facteurs tels que les performances requises, la puissance de l'installation, le niveau de tension du système ou encore la technologie du semi-conducteur utilisé [20].

II.5. Application des FACTS

L'idée principale des FACTS peut être expliquée par l'équation de base de la puissance transmise à travers une ligne de transport à courant alternatif.



(Fig. II.17) Diagramme schématique des applications des FACTS dans les réseaux [23].

La figure (figure(II.18)) représente la puissance transmise entre deux nœuds du système. Elle dépend des tensions aux deux extrémités de l'interconnexion, de l'impédance de la ligne et de la différence d'angle de phase entre les deux systèmes. Les différents dispositifs de FACTS peuvent activement influencer un ou plusieurs de ces paramètres pour la commande du flux de puissance et pour l'amélioration de la stabilité de tension aux nœuds de l'interconnexion.

Selon la configuration du système, les tâches des FACTS peuvent être récapitulées comme suit:

- Systèmes maillés: Commande du transit de puissance.
- Systèmes radiaux et lignes parallèles: commande de l'impédance.
- Systèmes faiblement connectés: commande de la tension.

Le tableau 2.1 résume d'une manière simple l'impact de l'utilisation de chaque FACTS, à la résolution des différents problèmes qui entravent le bon fonctionnement du réseau électrique [23].

Tableau 2.1: Application des FACTS à la résolution des problèmes dans le réseau [23].

	Contrôle de Charge	Contrôle de Tension	Stabilité Transitoire	Amplitude des Oscillations
SVC STATCOM	★	★★★	★	★★
TCSC	★★	★	★★★	★★
SSSC	★★★	★	★★★	★★
TCPAR	★★★	★★	★	★★
UPFC	★★★	★★★	★★★	★★★

Influence:

Petite → ★.

Moyenne → ★★.

Forte → ★★★.

Les lignes de transport constituent une composante importante du réseau. Elles sont constituées d'impédances série et shunt. L'impédance série peut affecter le maximum de puissance transmise à travers la ligne et l'impédance shunt est à prédominance capacitive. L'impédance série de la ligne, les tensions de départ et d'arrivée ainsi que le déphasage entre les tensions, déterminent la puissance transitée. Les FACTS sont utilisés afin de changer les paramètres série et shunt ainsi que le déphasage des tensions d'arrivées des lignes de transport dans le but de contrôler l'écoulement de puissance [23].

II.6. Les Applications Principales des FACTS

Tableau 2.2: les applications principales des FACTS [22].	
Type	Application
SVC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Stabilisation dynamique de tension, la capacité de transfert accrue de puissance, variation réduite de tension ➤ Améliorations de stabilité d'angle et de tension ➤ Équilibrage de charge dynamique <p>Appui équilibré de tension</p>
TCSC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Améliorer la stabilité de coupure et de tension ➤ Commander la ligne flux de puissance ➤ Augmenter la capacité de transfert d'énergie ➤ Atténuation de l'oscillation électromécanique <p>Faciliter des oscillations de subsynchronuos d'atténuation</p>
STATCOM	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Stabilisation dynamique de tension ➤ Système d'alimentation amélioré atténuant, atténuation de SSR ➤ Équilibrage de charge dynamique <p>Amélioration de la qualité de puissance</p>

II.8. Les Avantages et Inconvénients de la Technologie des Dispositifs FACTS

II.8.1. Les Avantages

- Contrôle le transit de la puissance active.
- Augmente la sécurité des systèmes énergétiques (augmentation de la limite de la stabilité transitoire, amortissement des oscillations ...)
- Réduit le transit de l'énergie réactive.
- Optimise les puissances générées, donc réduit le coût de production de l'énergie.
- Améliorée l'interconnexion et l'échange énergétique [24].

II.8.2. Les Inconvénients

L'introduction des harmoniques du réseau électrique ce qui le rend pollué, c'est-à-dire le signal sera tendu et non sinusoïdale. Il rend le réseau vulnérable au sur tension dues aux commutations répétitives [23].

Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons présentés de manière détaillée les équipements FACTS, leurs types, leurs rôles et les schémas de base des quelques dispositifs FACTS à savoir : SVC, STATCOM, TCSC, TSSC, SSSC et l'UPFC.

Après l'étude et l'analyse des différents modèles des dispositifs FACTS, on conclure que chaque dispositif impose un modèle bien déterminé d'une part, d'autre part la modélisation de ces dispositifs dynamiques (shunt, série, mixte) facilitent leur intégration dans les méthodes numériques tel que la méthode Newton- Raphson qu'on a utilisé comme un outil de base dans notre travail.

Le cout et les avantages et les inconvénients de la technologie des dispositifs FACTS ont étaient traitées à la fin de ce chapitre.



CHAPITRE III.:

*RESULTATS ET
INTERPRETATIONS*

Introduction

Dans ce chapitre, on va appliquer la méthode de Newton-Raphson pour l'analyse de l'écoulement de puissance dans le réseau électrique algérien. Parce que L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent.

Pour ce faire l'algorithme de programmation est appliqué sur le modèle de réseau électrique algérien selon le programme développé sous l'environnement MATLAB (MATPOWER). Et en fin nous avons exposés en détails les résultats de programmation et donne des solutions pour la meilleure exploitation de notre réseau.

III.1. Généralités sur le réseau électrique de transport algérien

III.1.1. Structure du réseau algérien

Le réseau électrique algérien contient 114 JB et 175 lignes de liaison entre ces JB avec 15 centrales de génération, ce réseau divise en six régions numérotées de 1 jusqu'à 6 et représentées comme suit :

	Régions					
	ORAN	ALGER	SETIF	ANNABA	DJELFA	OURGLA
Codes	1	2	3	4	5	6

Les niveaux de tension dans ce réseau sont entre 220 Kv (THT) et 90 Kv (MT) et présentés dans le tableau suivant :

Tensions (kV)	Code de niveau de tension
60	3
90	4
150	5
220	6

Exemple

4ANNAB6 c'est-à-dire le JB nommé 'ANNAB' est dans la quatrième région (Est algérien) 'ANNABA' et le niveau de tension dans ce JB est égal à 6, donc 220 KV.

III.1.2. Evolution de la puissance installée de production d'électricité**Tableau 3.3** : Evolution de la puissance installée de production d'électricité [26].

Capacité de production (MW)	1980	1990	2001	2007	2008	2009	2010	2011
Sonelgaz (SPE)	1 852	4 567	5 600	6 752	6 381	8439	8446	8503,8
Tiers indépendants	-	-	-	1 660	1 660	2886	2886	2886
Total	1 852	4 567	5 600	8 412	8 041	11325	11332	11389.8

III.1.3. Interconnexions internationales de réseau électrique algérien

Liaisons électriques déjà interconnecté avec le Maroc et la Tunisie:

i)- Avec la Tunisie

- El Aouinet-Tadjerouine en 90 kV (1952).
- El Kala-Fernana en 90 kV (1954).
- El Aouinet-Tadjerouine en 220 kV (1980).

Djebel Onk-Metlaoui en 150 kV (1984) [26].

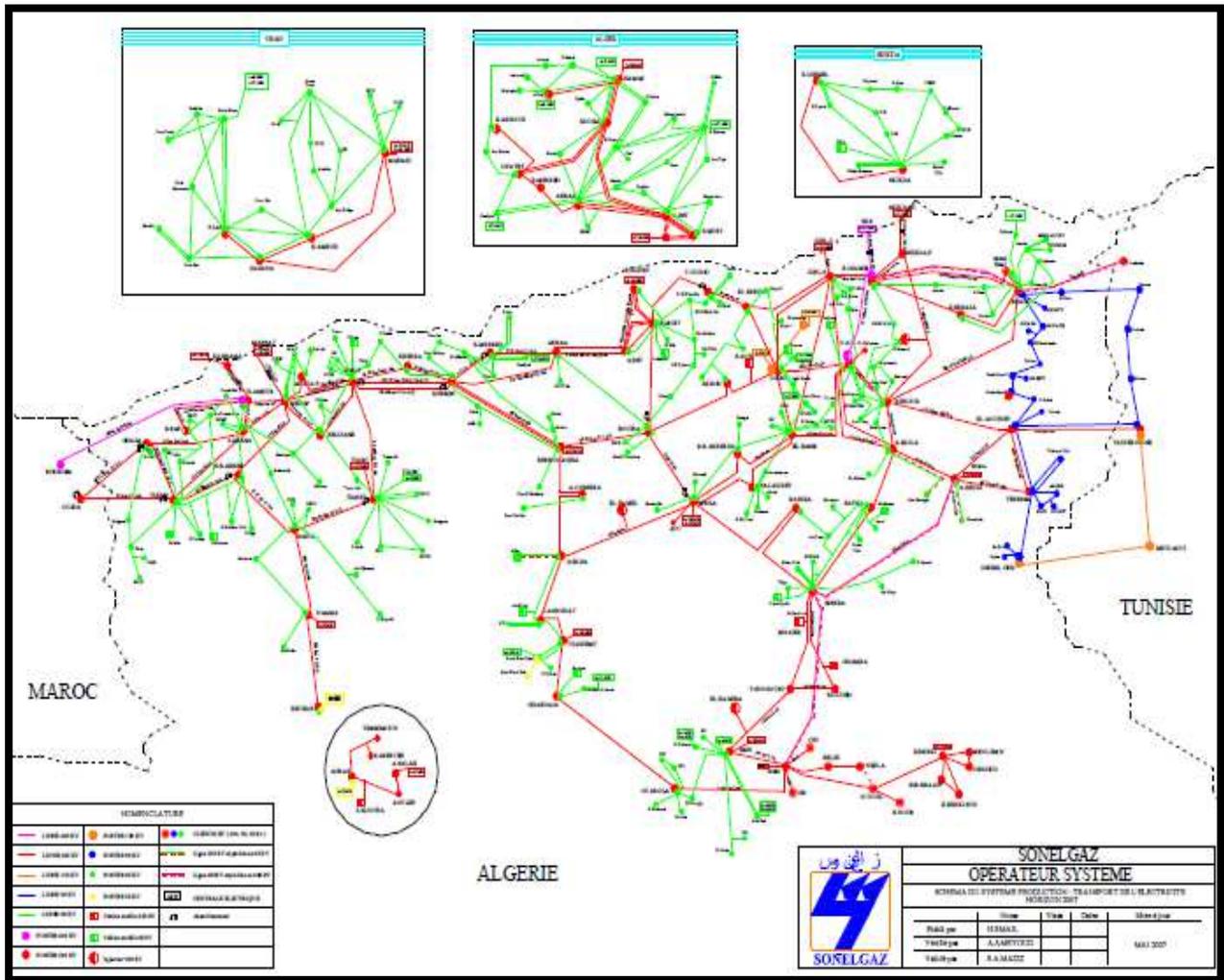
ii)- Avec le Maroc

- Ghazaouet-Oujda en 220 kV (1988).
- Tlemcen-Oujda en 220 kV (1992).
- Hassi Ameur –Bourdim en 400 (2010) [26].

iii)- Projet d'interconnexion électrique Algérie-Libye

Comme projet susceptible d'être engagé, figure l'interconnexion électrique Algérie-Libye qui est en phase d'étude [26].

La figure suivante représente le réseau national interconnecté.



(Fig.III.1) Carte du réseau national interconnecté [26].

III.2. Modèle de réseau étudié

Dans ce travail, on a choisit le réseau électrique algérien pour appliquer la méthode de Newton-Raphson pour l'analyse de leur écoulement de puissance, ce réseau comprend 114 jeux de barre reliés entre eux par 175 lignes de transport et 16 transformateur, la puissance est générée à l'aide de 16 centrales électriques alimentent le réseau inter connecté au niveau des jeux de barre 4,5,11,15,17,19,22,52,80,83,98,100,101,109,111.

III.2. Logiciel de programmation

Avant d'entamer la phase de programmation, il est préférable de donner un bref aperçu sur le logiciel qui utilisé dans ce travail. MATPOWER est un logiciel didactique, développé sous Matlab pour l'analyse des réseaux électriques. il est écrit par Ray D. Zimmerman, Carlos E. Murillo-Sánchez et Deqiang Gan a l'Université Cornell [27].

Il peut effectuer les fonctions statiques et dynamiques suivantes :

- Calcul d'écoulement de puissance PF (Power Flow).
- Calcul d'écoulement de puissance Optimal OPF (Optimal Power Flow)

La création des colonnes de matrices branche-data (les données des lignes de réseau), et la matrice Bus-data (les données des jeux de barres), et la matrice generator-data (les données des centrales électriques), comme suivant :

III.2.1. Les matrices de programmation

III.2.1.1. La matrice bus-data

1. numéro de jeux de barre.
2. type de jeux de barre (1 = PQ, 2 = PV, 3 = ref, 4 = isolé).
3. P_d , la puissance active demandée (MW).
4. Q_d , la puissance réactive demandée (MVAR).
5. G_s , la conductance shunt (MW (demandé) à $V = 1.0$ pu).
6. B_s , la susceptance shunt (MVAR (injecté) à $V = 1.0$ pu).
7. la zone de jeux de barre.
8. V_m , l'amplitude de la tension (P.U).
9. V_a , l'angle de tension (degrés).
10. V_{base} , La tension de base (kV).
11. La Zone de perte.
12. $\max V_m$, la tension d'amplitude maximale (P.U).
13. $\min V_m$, la tension d'amplitude minimale (P.U) [27].

III.2.1.2. La matrice generator-data

1. bus, numéro de jeux de barre.
2. P_g , la puissance active générée (MW).
3. Q_g , la puissance réactive générée (MVAR).
4. Q_{max} , la puissance réactive générée maximale (MVAR).
5. Q_{min} , la puissance réactive générée minimal (MVAR).
6. V_g , la tension de consigne (P.U).
7. m_{base} , S de base (MVA).

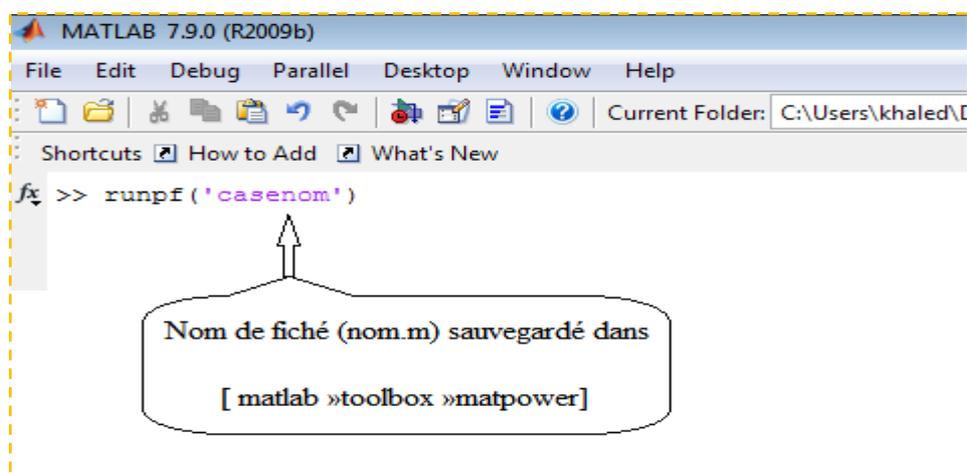
8. Statut, l'état de la centrale électrique,
Statut > 0 : la machine en service.
Statut <= 0 : machine hors service.
9. Pmax, la puissance active maximale (MW).
10. Pmin, la puissance active minimal (MW) [27].

III.2.1.3. La matrice branch-data

1. Fbus, from jeux de barre (numéro de jb).
2. Tbus, to jeux de barre (numéro de jb).
3. R, la résistance de la ligne (P.U).
4. X, la réactance de la ligne (P.U).
5. B, la susceptance de la ligne (P.U).
6. rateA. MVA rating A (note à long terme).
7. rateB. MVA rating B (note à court terme).
8. rateC. MVA rating C (Note d'urgence).
9. Angle, l'angle de déphasage du transformateur (degrés).
10. Statut, l'état initial de branche :
Statut = 1 : la ligne en service.
Statut = 0 : la ligne hors-service [27].

III.2. 2. Les instructions sur MATPOWER

« **runpf** » : run power flow, pour l'affichage de l'écoulement de puissance.



(Fig.III.2) L'instructions *runpf* sur matlab.

« **runopf** » : run optimal power flow, pour l'affichage de l'écoulement de puissance optimale.

III.3. Base des données de réseau algérien

III.3.1. Bus – data

Remarque

Tension de base est : $U_{base} = 220$ Kv.

La puissance de base est : $S_{base} = 100$ MVA.

Tableau 3.4 : Bus-data du réseau Algérien									
Nom de JB	Numéro de JB	Voltage de JB	Angle De JB	charge		Générateur			
				P_d	Q_d	P_g	Q_g	Q_{min}	Q_{max}
	Unité	p.u	Dégré	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	MVAR
1OUJDA6	1	1	0.0	0	0	0	0	0	0
1GHAZA6	2	1	0.0	36	17	0	0	0	0
1ZAHAN6	3	1	0.0	64	31	0	0	0	0
1MEHA16	4	1.0773	0.0	125	94	750	400	20	100
1MEHA26	5	1	0.0	335	250	300	160	20	100
1TLEMC6	6	1	0.0	78	37	0	0	0	0
1SBABE6	7	1	0.0	55	26	0	0	0	0
1RELIZ6	8	1	0.0	50	24	0	0	0	0
1BESAF6	9	1	0.0	40	19	0	0	0	0
1SAIDA6	10	1	0.0	42	21	0	0	0	0
1TIARE6	11	1	0.0	96	47	160	30	0	100
1BECHA6	12	1	0.0	31	15	0	0	0	0
1AISEF6	13	1	0.0	13	6	0	0	0	0
1PELAC6	14	1	0.0	136	65	0	0	0	0
1RABLA6	15	1	0.0	0	0	60	30	0	100
1RABLA6	16	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2ALEST6	17	1.0682	0.0	0	0	640	400	0	70
2ALEST3	18	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2APORT3	19	1	0.0	11	5	100	60	0	50
2ARBAA3	20	1	0.0	14	9	0	0	0	0
2ARBAA6	21	1	0.0	70	52	0	0	0	0
2BAEZO3	22	1	0.0	42	25	60	40	0	50
2BEAKN3	23	1	0.0	23	11	0	0	0	0
2HARA3	24	1	0.0	60	36	0	0	0	0
2GLAC3	25	1	0.0	17	8	0	0	0	0
2HAMMA3	26	1	0.0	55	26	0	0	0	0
2HAMM16	27	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2HAMM26	28	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2KOUBA3	29	1	0.0	37	18	0	0	0	0
2OFATaYE3	30	1	0.0	30	15	0	0	0	0
2OFAYE6	31	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2ROUIB3	32	1	0.0	40	24	0	0	0	0

2ROUI13	33	1	0.0	29	14	0	0	0	0
2TAFOU3	34	1	0.0	29	14	0	0	0	0
2BARAK3	35	1	0.0	33	16	0	0	0	0
2ABENI3	36	1	0.0	17	8	0	0	0	0
2A.TAY3	37	1	0.0	11	5	0	0	0	0
2AURAS3	38	1	0.0	20	10	0	0	0	0
2GOLF.3	39	1	0.0	20	10	0	0	0	0
2CHLEF3	40	1	0.0	21	10	0	0	0	0
2OUSLY3	41	1	0.0	53	32	0	0	0	0
2OUSLY6	42	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2KHEMI3	43	1	0.0	31	18	0	0	0	0
2KHEMI6	44	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2ADEF3	45	1	0.0	12	6	0	0	0	0
2ADEF13	46	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2KHERB3	47	1	0.0	21	10	0	0	0	0
2KHERB6	48	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2TENES3	49	1	0.0	13	6	0	0	0	0
2OFODA3	50	1	0.0	4	2	0	0	0	0
2GHRIB3	51	1	0.0	1	1	0	0	0	0
2BOUFA3	52	1	0.0	56	27	80	50	0	50
2BLIDA3	53	1	0.0	16	8	0	0	0	0
2EAFFR3	54	1	0.0	21	10	0	0	0	0
2CHERC3	55	1	0.0	18	9	0	0	0	0
2MEDEA3	56	1	0.0	33	20	0	0	0	0
2BERRO3	57	1	0.0	35	21	0	0	0	0
2BERRO6	58	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2BEMER3	59	1	0.0	36	17	0	0	0	0
2BEMER6	60	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2KOLEA3	61	1	0.0	27	13	0	0	0	0
2BOUME3	62	1	0.0	22	11	0	0	0	0
2TIOUZ3	63	1	0.0	49	29	0	0	0	0
2TIOUZ6	64	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2FREHA3	65	1	0.0	11	5	0	0	0	0
2DBKHE3	66	1	0.0	35	21	0	0	0	0
2TIMED3	67	1	0.0	10	5	0	0	0	0
2SEDJE3	68	1	0.0	11	5	0	0	0	0
2SGHOZ3	69	1	0.0	20	10	0	0	0	0
2ILLIT3	70	1	0.0	7	3	0	0	0	0
2BOUIR3	71	1	0.0	36	22	0	0	0	0
2BOUIR6	72	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2SIMUS3	73	1	0.0	36	22	0	0	0	0
2AOUSS6	74	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2AOUS16	75	1	0.0	0	0	0	0	0	0
2AOUSS2	76	1	0.0	12	6	0	0	0	0
2K.BOU3	77	1	0.0	7	3	0	0	0	0
2MUSTA3	78	1	0.0	13	7	0	0	0	0
2AMIRA3	79	1	0.0	14	7	0	0	0	0

3EHADJ6	80	1	0.0	157	107	100	56	0	50
3EAOU16	81	1	0.0	0	0	0	0	0	0
3KHROU6	82	1	0.0	75	36	0	0	0	0
3SKIKD6	83	1	0.0	70	51	230	120	0	50
3RADJA6	84	1	0.0	46	34	0	0	0	0
3ABEID6	85	1	0.0	45	22	0	0	0	0
3TEBE16	86	1	0.0	0	0	0	0	0	0
3AMLIL6	87	1	0.0	32	15	0	0	0	0
3EHADJ	88	1	0.0	46	22	0	0	0	0
3SOAHR4	89	1	0.0	34	17	0	0	0	0
3EAOU14	90	1	0.0	18	9	0	0	0	0
3TEBES4	91	1	0.0	44	21	0	0	0	0
3DJONK4	92	1	0.0	10	5	0	0	0	0
3TEBE14	93	1	0.0	0	0	0	0	0	0
4OATHM6	94	1	0.0	48	23	0	0	0	0
4AKBOU6	95	1	0.0	35	17	0	0	0	0
4AKBO16	96	1	0.0	0	0	0	0	0	0
4EKSEU6	97	1	0.0	42	20	0	0	0	0
4DARGU6	98	1	0.0	13	6	100	30	0	50
4EHASI6	99	1	0.0	105	50	0	0	0	0
4JIJEL6	100	1.0773	0.0	33	16	550	50	0	50
4MSILA6	101	1.0818	0.0	50	24	360	50	0	50
4BBARE6	102	1	0.0	34	16	0	0	0	0
4BISKR6	103	1	0.0	66	32	0	0	0	0
4BARIK6	104	1	0.0	18	9	0	0	0	0
4BARI16	105	1	0.0	0	0	0	0	0	0
4BATNA6	106	1	0.0	64	31	0	0	0	0
5DJELF6	107	1	0.0	65	37	0	0	0	0
5GHARD6	108	1	0.0	22	11	0	0	0	0
5TILGH6	109	1.0818	0.0	37	18	180	85	0	50
6MGHAI6	110	1	0.0	13	6	0	0	0	0
6HMSNO6	111	1.0909	0.0	94	56	200	85	0	0
6TOUGO6	112	1	0.0	24	12	0	0	0	0
6OURGL6	113	1	0.0	23	11	0	0	0	0
6EOUED6	114	1	0.0	24	12	0	0	0	0

III.3.2. Line – data

Tableau 3.5 : Informations des lignes du réseau Algérien						
Nom de ligné	Les lignes		Résistance	Réactance	substance	$S_{tr\ max}$
	Unité	départ	Arrivée	p.u	p.u	p.u
1	1	2	0.0085	0.0403	0.1293*1e-06	250
2	1	6	0.0122	0.0578	0.1862*1e-06	250
3	6	2	0.0140	0.0498	0.1514*1e-06	200
4	42	4	0.0274	0.1295	0.4167*1e-06	250
5	42	4	0.0139	0.0122	0.6291*1e-06	450
6	3	4	0.0033	0.0158	0.2058*1e-06	500
7	3	5	0.0028	0.0189	0.1254*1e-06	450
8	4	5	0.0018	0.0126	0.0841*1e-06	450
9	7	4	0.0144	0.0678	0.2186*1e-06	250
10	16	15	0.0038	0.0135	0.0413*1e-06	200
11	3	16	0.0041	0.0144	0.0440*1e-06	200
12	14	16	0.0013	0.0045	0.0136*1e-06	200
13	42	8	0.0171	0.0629	0.1938*1e-06	200
14	4	8	0.0184	0.0870	0.2804*1e-06	250
15	7	10	0.0150	0.0709	0.2283*1e-06	250
16	11	10	0.0228	0.1076	0.3463*1e-06	250
17	6	7	0.0157	0.0740	0.2382*1e-06	250
18	42	11	0.0170	0.0806	0.2595*1e-06	250
19	3	6	0.0288	0.1012	0.3116*1e-06	200
20	2	9	0.0042	0.0284	0.1886*1e-06	450
21	3	9	0.0088	0.0600	0.3983*1e-06	450
22	12	13	0.0501	0.2365	0.7616*1e-06	250
23	13	10	0.0464	0.2190	0.7052*1e-06	250
24	21	17	0.0065	0.0244	0.0752*1e-06	200
25	21	17	0.0073	0.0278	0.0862*1e-06	200
26	72	17	0.0197	0.0732	0.2262*1e-06	200
27	27	17	0.0046	0.0237	0.4281*1e-06	300
28	31	17	0.0061	0.0311	0.2634*1e-06	350
29	28	31	0.0017	0.0088	0.3184*1e-06	300
30	64	17	0.0198	0.0727	0.2242*1e-06	200
31	44	21	0.0240	0.0861	0.2626*1e-06	200

32	31	60	0.0037	0.0253	0.1678*1e-06	450
33	60	21	0.0056	0.0263	0.0845*1e-06	250
34	44	60	0.0122	0.0578	0.1862*1e-06	250
35	44	58	0.0121	0.0569	0.1831*1e-06	250
36	101	72	0.0213	0.1007	0.3244*1e-06	250
37	58	72	0.0183	0.0863	0.2779*1e-06	250
38	75	58	0.0148	0.0701	0.2254*1e-06	250
39	107	75	0.0185	0.0876	0.2818*1e-06	250
40	74	75	0.0006	0.0026	0.0112*1e-06	250
41	42	44	0.0248	0.0903	0.2771*1e-06	200
42	42	44	0.0183	0.0864	0.2779*1e-06	250
43	48	42	0.0074	0.0506	0.3355*1e-06	450
44	44	48	0.0025	0.0158	0.1045*1e-06	450
45	101	107	0.0334	0.1577	0.5076*1e-06	250
46	97	64	0.0178	0.0654	0.2006*1e-06	200
47	96	72	0.0152	0.0540	0.1649*1e-06	200
48	98	96	0.0203	0.0720	0.2198*1e-06	200
49	95	96	0.0015	0.0070	0.0227*1e-06	200
50	22	18	0.0022	0.0104	0.0131*1e-04	80
51	37	18	0.0019	0.0092	0.0116*1e-04	80
52	22	37	0.0013	0.0061	0.0077*1e-04	80
53	26	19	0.0004	0.0006	0.0131*1e-04	60
54	26	19	0.0004	0.0006	0.0131*1e-04	60
55	34	19	0.0001	0.0009	0.0008*1e-04	80
56	18	20	0.0100	0.0219	0.0100*1e-04	50
57	24	20	0.0028	0.0103	0.0046*1e-04	40
58	24	20	0.0027	0.0101	0.0046*1e-04	40
59	29	20	0.0024	0.0088	0.0039*1e-04	40
60	35	20	0.0032	0.0114	0.0046*1e-04	40
61	29	35	0.0034	0.0122	0.0054*1e-04	40
62	32	20	0.0053	0.0176	0.0077*1e-04	60
63	32	22	0.0025	0.0085	0.0039*1e-04	60
64	24	22	0.0018	0.0059	0.0023*1e-04	60
65	24	22	0.0018	0.0059	0.0023*1e-04	60
66	31	23	0.0018	0.0059	0.0023*1e-04	60
67	36	23	0.0010	0.0034	0.0016*1e-04	60
68	31	36	0.0020	0.0068	0.0031*1e-04	60
69	18	33	0.0015	0.0051	0.0023*1e-04	60

70	33	32	0.0018	0.0059	0.0023*1e-04	60
71	25	26	0.0010	0.0038	0.0016*1e-04	30
72	25	24	0.0012	0.0045	0.0023*1e-04	60
73	34	26	0.0004	0.0024	0.0016*1e-04	60
74	26	29	0.0009	0.0012	0.0262*1e-04	60
75	39	29	0.0009	0.0061	0.0031*1e-04	80
76	34	38	0.0003	0.0023	0.0016*1e-04	80
77	73	18	0.0116	0.0255	0.0116*1e-04	50
78	73	18	0.0064	0.0225	0.0092*1e-04	60
79	18	62	0.0038	0.0144	0.0062*1e-04	60
80	52	20	0.0065	0.0161	0.0085*1e-04	50
81	52	20	0.0065	0.0161	0.0085*1e-04	50
82	59	54	0.0088	0.0228	0.0039*1e-04	50
83	59	52	0.0027	0.0075	0.0139*1e-04	50
84	51	57	0.0091	0.0305	0.0154*1e-04	60
85	77	57	0.0102	0.0340	0.0054*1e-04	60
86	53	52	0.0070	0.0133	0.0054*1e-04	35
87	54	53	0.0070	0.0133	0.0069*1e-04	35
88	31	52	0.0054	0.0133	0.0100*1e-04	50
89	70	71	0.0119	0.0234	0.0062*1e-04	35
90	41	40	0.0044	0.0121	0.0123*1e-04	50
91	50	40	0.0100	0.0271	0.0123*1e-04	35
92	41	71	0.0081	0.0272	0.0069*1e-04	60
93	68	70	0.0090	0.0162	0.0116*1e-04	35
94	46	43	0.0076	0.0255	0.0116*1e-04	60
95	43	51	0.0154	0.0265	0.0139*1e-04	35
96	55	54	0.0089	0.0297	0.0193*1e-04	60
97	43	55	0.0127	0.0425	0.0046*1e-04	60
98	62	73	0.0030	0.0102	0.0239*1e-04	60
99	67	73	0.0249	0.0521	0.0116*1e-04	40
100	67	68	0.0123	0.0265	0.0262*1e-04	40
101	26	29	0.0009	0.0012	0.0177*1e-04	60
102	66	73	0.0121	0.0428	0.0077*1e-04	60
103	66	63	0.0051	0.0170	0.0062*1e-04	60
104	65	63	0.0041	0.0138	0.0039*1e-04	60
105	65	63	0.0041	0.0138	0.0108*1e-04	60
106	54	56	0.0076	0.0255	0.0147*1e-04	60
107	56	57	0.0089	0.0297	0.0092*1e-04	60

108	56	57	0.0089	0.0297	0.0231*1e-04	60
109	50	47	0.0089	0.0297	0.0039*1e-04	60
110	46	47	0.0025	0.0085	0.0108*1e-04	60
111	66	67	0.0084	0.0208	0.0147*1e-04	50
112	41	49	0.0094	0.0314	0.0092*1e-04	50
113	78	19	0.0003	0.0004	0.0231*1e-04	60
114	79	19	0.0008	0.0010	0.0054*1e-04	60
115	61	59	0.0038	0.0135	0.0016*1e-04	60
116	46	45	0.0013	0.0045	0.0016*1e-04	60
117	87	85	0.0158	0.0745	0.2399*1e-06	250
118	86	85	0.0139	0.0657	0.2114*1e-06	250
119	81	85	0.0099	0.0467	0.1502*1e-06	250
120	106	87	0.0105	0.0495	0.1593*1e-06	250
121	82	87	0.0056	0.0266	0.0853*1e-06	250
122	99	87	0.0322	0.1249	0.3880*1e-06	200
123	105	103	0.0130	0.0613	0.1973*1e-06	250
124	101	105	0.0171	0.0806	0.2595*1e-06	250
125	104	105	0.0015	0.0070	0.0227*1e-06	250
126	106	103	0.0208	0.0983	0.3163*1e-06	250
127	82	81	0.0303	0.1075	0.3279*1e-06	200
128	82	80	0.0319	0.1129	0.3444*1e-06	200
129	84	80	0.0191	0.0676	0.2062*1e-06	200
130	83	84	0.0051	0.0180	0.0552*1e-06	200
131	83	82	0.0191	0.0676	0.2062*1e-06	200
132	98	100	0.0102	0.0598	0.3219*1e-06	250
133	97	100	0.0111	0.0759	0.5033*1e-06	450
134	97	98	0.0121	0.0448	0.1386*1e-06	200
135	100	99	0.0231	0.1089	0.3504*1e-06	250
136	100	87	0.0102	0.0694	0.0448*1e-06	450
137	84	100	0.0065	0.0442	0.2932*1e-06	450
138	80	84	0.0074	0.0506	0.3355*1e-06	450
139	81	86	0.0055	0.0379	0.2514*1e-06	450
140	99	98	0.0163	0.0580	0.1767*1e-06	200
141	102	101	0.0116	0.0547	0.1762*1e-06	250
142	102	99	0.0116	0.0547	0.1762*1e-06	250
143	101	90	0.0111	0.0759	0.5033*1e-06	450
144	94	98	0.0357	0.1275	0.3919*1e-06	200
145	82	94	0.0056	0.0263	0.0845*1e-06	250

146	93	92	0.0272	0.0684	0.1512*1e-05	60
147	91	93	0.0051	0.0180	0.0317*1e-05	60
148	91	93	0.0063	0.0225	0.0414*1e-05	60
149	89	90	0.0130	0.0402	0.0789*1e-05	60
150	89	88	0.0227	0.0686	0.1357*1e-05	60
151	93	90	0.0310	0.0534	0.1033*1e-05	60
152	110	103	0.0185	0.0876	0.2818*1e-06	250
153	112	110	0.0185	0.0876	0.2818*1e-06	250
154	114	103	0.0419	0.1979	0.6374*1e-06	250
155	108	109	0.0148	0.0701	0.2254*1e-06	250
156	107	109	0.0388	0.1833	0.5899*1e-06	250
157	114	112	0.0190	0.0896	0.2882*1e-06	250
158	111	112	0.0297	0.1402	0.4512*1e-06	250
159	111	113	0.0167	0.0787	0.2595*1e-06	250
160	88	80	0.0123	0.3140	0.000000000	400
161	90	81	0.0062	0.1452	0.000000000	240
162	93	86	0.0012	0.0742	0.000000000	240
163	41	42	0.0012	0.0742	0.000000000	240
164	57	58	0.0012	0.0742	0.000000000	240
165	43	44	0.0029	0.1053	0.000000000	120
166	59	60	0.0014	0.0516	0.000000000	360
167	63	64	0.0019	0.0700	0.000000000	180
168	71	72	0.0012	0.0742	0.000000000	240
169	18	17	0.0014	0.0516	0.000000000	360
170	20	21	0.0016	0.0525	0.000000000	240
171	26	27	0.0024	0.1484	0.000000000	120
172	26	28	0.0024	0.1484	0.000000000	120
173	30	31	0.0007	0.0495	0.000000000	360
174	47	48	0.0012	0.0742	0.000000000	240
175	76	74	0.0089	0.3340	0.000000000	40

III.4. Les résultats obtenus

III.4.1. L'affichage du calcul de l'écoulement de puissance

L'affichage du calcul de l'écoulement de puissance par la méthode de Newton-Raphson d'après l'exécution du programme avec les paramètres indiqués précédemment on a trouvé les résultats suivants :

Tableau 3.6 : L'analyse de l'écoulement de puissance par la méthode de « Newton Raphson »

Nom de JB	Numéro de JB	Voltage de JB p.u	Angle De JB Degrée	charge		Générateur	
				P_d	Q_d	P_g	Q_g
				MW	MVAR	MW	MVAR
1OUJDA6	1	1,016	-4.025	0	0	-	-
1GHAZA6	2	1,017	-4.043	36	17	-	-
1ZAHAN6	3	1,055	-1.363	64	31	-	-
1MEHA16	4	1,077	0.000	125	94	377.11	79.34
1MEHA26	5	1,06	-0.610	335	250	300.00	85.34
1TLEMC6	6	1,015	-3.998	78	37	-	-
1SBABE6	7	1,025	-3.099	55	26	-	-
1RELIZ6	8	1,049	-0.812	50	24	-	-
1BESAF6	9	1,024	-3.551	40	19	-	-
1SAIDA6	10	1,008	-3.749	42	21	-	-
1TIARE6	11	1,06	-0.251	96	47	70.00	89.08
1BECHA6	12	0,96	-13.859	31	15	-	-
1AISEF6	13	0,972	-9.096	13	6	-	-
1PELAC6	14	1,046	-2.183	136	65	-	-
1RABLA6	15	1,06	-1.599	0	0	60.00	55.02
1RABLA6	16	1,051	-1.908	0	0	-	-
2ALEST6	17	1,068	3.492	0	0	400	51.72
2ALEST3	18	1,031	-0.423	0	0	-	-
2APORT3	19	1,03	-2.118	11	5	100	45.22
2ARBAA3	20	1,027	-0.901	14	9	-	-
2ARBAA6	21	1,044	1.870	70	52	-	-
2BAEZO3	22	1,03	-1.812	42	25	60.00	37.28
2BEAKN3	23	1,027	0.444	23	11	-	-
2HARA3	24	1,017	-2.227	60	36	-	-
2GLAC3	25	1,019	-2.382	17	8	-	-
2HAMMA3	26	1,027	-2.092	55	26	-	-
2HAMM16	27	1,06	2.795	0	0	-	-
2HAMM26	28	1,039	1.064	0	0	-	-
2KOUBA3	29	1,022	-2.170	37	18	-	-
2OFATaYE3	30	1,033	0.455	30	15	-	-

2OFAYE6	31	1,04	1.242	0	0	-	-
2ROUIB3	32	1,006	-2.385	40	24	-	-
2ROUI13	33	1,011	-1.825	29	14	-	-
2TAFOU3	34	1,026	-2.333	29	14	-	-
2BARAK3	35	1,004	-2.768	33	16	-	-
2ABENI3	36	1,027	0.472	17	8	-	-
2A.TAY3	37	1,027	-1.522	11	5	-	-
2AURAS3	38	1,023	-2.642	20	10	-	-
2GOLF.3	39	1,011	-3.010	20	10	-	-
2CHLEF3	40	0,986	-4.400	21	10	-	-
2OUSLY3	41	1,012	-3.212	53	32	-	-
2OUSLY6	42	1,051	0.065	0	0	-	-
2KHEMI3	43	0,998	-2.044	31	18	-	-
2KHEMI6	44	1,03	0.446	0	0	-	-
2ADEF3	45	0,997	-2.542	12	6	-	-
2ADEF13	46	1,003	-2.185	0	0	-	-
2KHERB3	47	1,016	-1.577	21	10	-	-
2KHERB6	48	1,032	0.104	0	0	-	-
2TENES3	49	0,967	-5.984	13	6	-	-
2OFODA3	50	0,994	-3.410	4	2	-	-
2GHRIB3	51	0,986	-1.664	1	1	-	-
2BOUFA3	52	1,03	-0.712	56	27	80.00	38.21
2BLIDA3	53	0,975	-2.826	16	8	-	-
2EAF3	54	0,962	-3.810	21	10	-	-
2CHERC3	55	0,994	-5.337	18	9	-	-
2MEDEA3	56	0,997	-4.370	33	20	-	-
2BERRO3	57	0,978	-1.273	35	21	-	-
2BERRO6	58	1,01	1.826	0	0	-	-
2BEMER3	59	1,015	-1.069	36	17	-	-
2BEMER6	60	1,035	0.975	0	0	-	-
2KOLEA3	61	0,976	-3.518	27	13	-	-
2BOUME3	62	0,978	-2.894	22	11	-	-
2TIOUZ3	63	0,986	0.670	49	29	-	-
2TIOUZ6	64	1,028	4.403	0	0	-	-
2FREHA3	65	0,978	0.144	11	5	-	-
2DBKHE3	66	0,968	-3.645	35	21	-	-
2TIMED3	67	0,972	-4.077	10	5	-	-
2SEDJE3	68	0,966	-3.254	11	5	-	-
2SGHOZ3	69	1,024	3.067	20	10	-	-
2ILLIT3	70	0,976	-1.574	7	3	-	-
2BOUIR3	71	1,01	1.703	36	22	-	-
2BOUIR6	72	1,034	3.767	0	0	-	-
2SIMUS3	73	0,964	-3.141	36	22	-	-
2AOUSS6	74	1,008	4.427	0	0	-	-
2AOUS16	75	1,009	4.442	0	0	-	-
2AOUSS2	76	0,986	2.147	12	6	-	-

2K.BOU3	77	0,953	-2.986	7	3	-	-
2MUSTA3	78	1,029	-2.141	13	7	-	-
2AMIRA3	79	1,028	-2.184	14	7	-	-
3EHADJ6	80	1,06	6.746	157	107	101.00	44.41
3EAOUI6	81	0,955	2.849	0	0	-	-
3KHROU6	82	1,012	6.149	75	36	-	-
3SKIKD6	83	1,06	9.380	70	51	85.00	46.87
3RADJA6	84	1,06	8.825	46	34	-	-
3ABEID6	85	0,96	3.138	45	22	-	-
3TEBE16	86	0,976	2.175	0	0	-	-
3AMLIL6	87	1,011	6.370	32	15	-	-
3EHADJ	88	0,989	-3.165	46	22	-	-
3SOAHR4	89	0,972	-4.896	34	17	-	-
3EAOUI4	90	0,999	-1.039	18	9	-	-
3TEBES4	91	0,999	-2.141	44	21	-	-
3DJONK4	92	0,979	-2.888	10	5	-	-
3TEBE14	93	0,962	-0.570	0	0	-	-
4OATHM6	94	1,012	6.178	48	23	-	-
4AKBOU6	95	1,039	7.900	35	17	-	-
4AKBO16	96	1,041	8.017	0	0	-	-
4EKSEU6	97	1,05	7.982	42	20	-	-
4DARGU6	98	1,06	9.146	13	6	82.00	45.55
4EHASI6	99	1,05	8.362	105	50	-	-
4JJEL6	100	1,077	11.514	33	16	159.00	30.08
4MSILA6	101	1,082	9.689	50	24	167.00	42.44
4BBARE6	102	1,06	8.611	34	16	-	-
4BISKR6	103	1	5.405	66	32	-	-
4BARIK6	104	1,03	6.977	18	9	-	-
4BARI16	105	1,03	7.037	0	0	-	-
4BATNA6	106	0,992	4.966	64	31	-	-
5DJELF6	107	1,018	8.205	65	37	-	-
5GHARD6	108	1,071	18.654	22	11	-	-
5TILGH6	109	1,082	19.336	37	18	180.00	42.55
6MGHAI6	110	1,005	6.095	13	6	-	-
6HMSNO6	111	1,091	12.695	94	56	86.00	41.83
6TOUGO6	112	1,017	7.350	24	12	-	-
6OURGL6	113	1,079	11.903	23	11	-	-
6EOUED6	114	1,001	6.002	24	12	-	-

$\sum P_{générie} = 2165 \text{ MW}$

$\sum Q_{générie} = 1774.94 \text{ MVAR}$

$\sum \text{Pertes actives} = 70 \text{ MW}$

$\sum \text{Pertes réactives} = 180 \text{ MVAR}$

Taux = 3,23 %

Taux = 10,14 %

$\sum P_{demmandé} = 2095 \text{ MW}$

$\sum Q_{demmandé} = 1594.94 \text{ MVAR}$

L’affichage des puissances transités entre les lignes par la méthode « Newton Raphson » est représenté par le tableau suivant :

Tableau 3.7 : L’analyse de puissances transitées de réseau.

Nom de ligne	Transite		Puissance active transité	Puissance réactive transité	Transite		Puissance active transité	Puissance réactive transité	Les pertes actives	Les pertes réactives
	Unité	de	vers	MW	MVAR	de	Vers	MW	MVAR	MW
1	1	2	85.73	-52.85	2	1	-88.01	49.61	0.03	0.21
2	1	6	-91.5	55.60	6	1	88.65	60.62	0.112	0.53
3	6	2	25.76	-33.21	2	6	-27.75	32.21	0.001	0.01
4	42	4	-95.45	-57.98	4	42	93.56	61.51	0.112	0.53
5	42	4	-109.7	-105.49	4	42	112.61	108.05	2.917	2.56
6	3	4	-192.83	-103.37	4	3	194.25	110.16	1.418	6.79
7	3	5	-85.73	-28.85	5	3	79.89	13.96	30.164	1.11
8	4	5	115.37	131.95	5	4	-114.89	-128.61	0.476	3.34
9	7	4	-99.81	-55.42	4	7	101.6	63.83	1.786	8.41
10	16	15	-59.78	-54.23	15	16	60	55.02	0.224	0.8
11	3	16	76.72	12.49	16	3	-76.49	-11.71	0.222	0.78
12	14	16	-136	-65	16	14	136.27	65.93	0.27	0.93
13	42	8	25.63	-4.33	8	42	-25.52	4.72	0.105	0.38
14	4	8	24.72	29.85	8	4	-24.48	-28.72	0.238	1.13
15	7	10	20.86	20.48	10	7	-20.74	-19.9	0.122	0.58
16	11	10	68.76	38.61	10	11	-67.5	-32.65	1.262	5.96
17	6	7	-23.86	-8.48	7	6	23.96	8.94	0.098	0.46
18	42	11	-99.81	-55.42	11	42	101.6	63.83	0.031	0.15
19	3	6	56.41	27.25	6	3	-55.4	-23.68	1.015	3.56
20	2	9	-34.75	-21.84	9	2	34.82	22.31	0.068	0.46
21	3	9	115.37	131.95	9	3	-114.89	-128.61	0.613	4.18
22	12	13	75.43	45.48	13	12	-74.82	-41.31	0.804	3.8
23	13	10	-44.8	-24.8	10	13	46.24	31.55	1.431	6.75
24	21	17	-145.95	-62.41	17	21	147.45	68.05	1.502	5.64
25	21	17	-128.02	-55.28	17	21	129.32	60.24	1.302	4.96
26	72	17	105.71	9.94	17	72	-103.89	-3.25	0.411	1.53
27	27	17	-62.9	-24.89	17	27	63.09	25.85	0.187	0.97
28	31	17	-152.31	-61.56	17	31	153.83	69.32	1.522	7.76
29	28	31	-39.72	-8.41	31	28	39.75	8.55	0.026	0.13
30	64	17	76.47	-2.22	17	64	-75.42	7.16	0.665	2.44
31	44	21	-33.04	-7.14	21	44	33.3	8.07	0.259	0.93
32	31	60	22.62	19.47	60	31	-22.59	-19.26	0.03	0.21
33	60	21	-68.96	-22.56	21	60	69.23	23.85	0.275	1.29
34	44	60	-17.88	-3.98	60	44	17.92	4.16	0.039	0.18

35	44	58	-34.56	44.59	58	44	34.92	-42.89	0.363	1.71
36	101	72	121.3	31.7	72	101	-118.44	-18.17	2.861	13.52
37	58	72	-44.79	-18.01	72	58	45.21	19.98	0.418	1.97
38	75	58	63.4	-13.79	58	75	-62.79	16.69	0.613	2.9
39	107	75	76.47	-2.22	75	107	-75.42	7.16	1.044	4.94
40	74	75	-12.02	-6.62	75	74	53.13	9.97	0.315	1.17
41	42	44	-52.82	-8.8	44	42	-59.63	-11.8	0.774	3.65
42	42	44	60.41	15.45	44	42	-150.7	-67.98	2.727	18.55
43	48	42	153.42	86.54	42	48	53.13	9.97	0.315	1.17
44	44	48	37.7	-15.59	48	44	-37.66	15.83	0.039	0.25
45	101	107	26.18	38.24	107	101	-25.57	-35.35	0.613	2.89
46	97	64	105.71	9.94	64	97	-103.89	-3.25	1.82	6.69
47	96	72	-27.24	-11.66	72	96	27.36	12.11	0.127	0.45
48	98	96	35.31	18.11	96	98	-35.02	-17.1	0.284	1.01
49	95	96	-35	-17	96	95	35.02	17.1	0.021	0.1
50	22	18	-17.75	3.28	18	22	17.84	-2.85	0.089	0.43
51	37	18	-16.44	0.16	18	37	16.5	0.15	0.066	0.32
52	22	37	-35.01	-23.62	37	22	35.04	23.84	0.032	0.21
53	26	19	-13.42	-26.11	19	26	13.46	26.17	0.047	0.06
54	26	19	-13.42	-26.11	19	26	13.46	26.17	0.047	0.06
55	34	19	-35.01	-23.62	19	34	35.04	23.84	0.032	0.21
56	18	20	-18.1	-2.66	20	18	18.22	3.11	0.122	0.45
57	24	20	-18.1	-2.66	20	24	18.22	3.11	0.122	0.45
58	24	20	-18.49	-2.72	20	24	18.61	3.18	0.124	0.46
59	29	20	-19.55	0.69	20	29	19.66	-0.26	0.117	0.43
60	35	20	-24.2	-7.89	20	35	24.48	8.87	0.275	0.98
61	29	35	8.86	8.34	35	29	-8.8	-8.11	0.065	0.23
62	32	20	-12.82	-5.03	20	32	12.95	5.47	0.133	0.44
63	32	22	-14.11	-16.81	22	32	14.27	17.35	0.163	0.54
64	24	22	-13.37	-12.95	22	24	13.45	13.22	0.08	0.27
65	24	22	-13.37	-12.95	22	24	13.45	13.22	0.08	0.27
66	31	23	21.81	10.75	23	31	-21.68	-10.31	0.131	0.44
67	36	23	-18.1	-2.66	23	36	18.22	3.11	0.122	0.45
68	31	36	18.42	9.05	36	31	-18.32	-8.69	0.106	0.36
69	18	33	42.53	17.67	33	18	-42.12	-16.31	0.409	1.37
70	33	32	13.12	2.31	32	33	-13.08	-2.17	0.041	0.14
71	25	26	-13.67	-12.74	26	25	13.72	12.92	0.047	0.17
72	25	24	-10.31	-10.96	24	25	10.39	11.19	0.079	0.22
73	34	26	-14.02	-0.52	26	34	14.02	0.58	0.009	0.06
74	26	29	23.29	18.85	29	26	-23.19	-18.72	0.101	0.13
75	39	29	-20	-10	29	39	20.06	10.4	0.062	0.4
76	34	38	20.02	10.15	38	34	-20	-10	0.022	0.15
77	73	18	-18.38	-10.2	18	73	19.12	11.83	0.741	1.63
78	73	18	-19.9	-15.38	18	73	20.48	17.44	0.582	2.06
79	18	62	28.01	21.48	62	18	-27.42	-19.21	0.596	2.28

80	52	20	-14.12	-4.49	20	52	-1.84	5.06	0.315	0.57
81	52	20	-14.12	-4.49	20	52	14.44	5.06	0.315	0.57
82	59	54	20.37	13.61	54	59	-19.67	-11.83	0.691	1.78
83	59	52	-10.31	-10.96	52	59	10.39	11.19	0.079	0.22
84	51	57	-14.42	-7.25	57	51	14.78	8.46	0.363	1.21
85	77	57	16.41	10.18	57	77	-16.2	-9.59	0.087	0.29
86	53	52	-28.36	-14.57	52	53	29.36	16.48	1.001	1.91
87	54	53	-12.17	-6.2	53	54	12.36	6.57	0.193	0.37
88	31	52	19.7	-1.77	52	31	-19.44	2.42	0.261	0.65
89	70	71	-21.44	-8.06	71	70	22.38	9.91	0.938	1.85
90	41	40	16.41	10.18	40	41	-16.2	-9.59	0.213	0.59
91	50	40	-19.9	-15.38	40	50	20.48	17.44	0.582	2.06
92	41	71	-18.38	-10.2	71	41	19.12	11.83	0.741	1.63
93	68	70	-14.12	-4.49	70	68	14.44	5.06	0.315	0.57
94	46	43	-24.2	-7.89	43	46	24.48	8.87	0.275	0.98
95	43	51	8.86	8.34	51	43	-8.8	-8.11	0.065	0.23
96	55	54	-12.82	-5.03	54	55	12.95	5.47	0.133	0.44
97	43	55	11.79	8.05	55	43	-11.44	-6.88	0.349	1.17
98	62	73	21.81	10.75	73	62	-21.68	-10.31	0.131	0.44
99	67	73	-18.1	-2.66	73	67	18.22	3.11	0.122	0.45
100	67	68	18.42	9.05	68	67	-18.32	-8.69	0.106	0.36
101	26	29	23.29	18.85	29	26	-23.19	-18.72	0.101	0.13
102	66	73	-13.14	-6.34	73	66	13.24	6.68	0.096	0.34
103	66	63	-34.5	-15.61	63	66	35.66	19.49	1.161	3.88
104	65	63	-15.5	-12.5	63	65	15.52	2.57	0.021	0.07
105	65	63	-15.5	-12.5	63	65	15.52	12.57	0.021	0.07
106	54	56	14.22	15.69	56	54	-14.16	-15.5	0.057	0.19
107	56	57	-14.42	-17.25	57	56	14.78	18.46	0.363	1.21
108	56	57	-14.42	-7.25	57	56	14.78	8.46	0.363	1.21
109	50	47	-14.83	-12.5	47	50	14.93	12.84	0.102	0.34
110	46	47	-11.74	-7.54	47	46	11.8	7.76	0.066	0.22
111	66	67	12.64	10.95	67	66	-2.63	-10.92	0.011	0.03
112	41	49	13.28	16.93	49	41	-13	-16	0.277	0.93
113	78	19	-13	-17	19	78	13.01	17.01	0.009	0.01
114	79	19	-14	-17	19	79	14.02	17.03	0.024	0.03
115	61	59	-27	-13	59	61	27.48	14.71	0.484	1.71
116	46	45	12.03	6.11	45	46	-12	-6	0.031	0.11
117	87	85	84.77	53.3	85	87	-83.22	-46	1.55	7.31
118	86	85	-96.31	-54.57	85	86	96.45	55.23	0.141	0.66
119	81	85	-91.75	-84.66	85	81	93.77	80.77	0.023	0.11
120	106	87	-55.01	-25.11	87	106	55.4	26.94	0.39	1.84
121	82	87	-83.77	5.17	87	82	83.78	-5.11	0.012	0.06
122	99	87	35.8	24.27	87	99	-35.26	-22.15	0.546	2.12
123	105	103	56.25	39.47	103	105	-55.68	-36.75	0.578	2.73
124	101	105	75.53	54.47	105	101	-74.26	-48.5	1.267	5.97

125	104	105	-88	-49	105	104	88.01	49.03	0.006	0.03
126	106	103	-91.75	-84.66	103	106	93.77	80.77	0.023	0.11
127	82	81	-55.01	-25.11	81	82	55.4	26.94	0.39	1.84
128	82	80	-109.77	79.17	80	82	108.78	-81.11	0.012	0.06
129	84	80	35.8	24.27	80	84	-35.26	-22.15	0.546	2.12
130	83	84	54.25	24.47	84	83	-55.68	-22.75	0.578	2.73
131	83	82	75.53	54.47	82	83	-74.26	-48.5	1.267	5.97
132	98	100	-88	-49	100	98	88.01	49.03	0.006	0.03
133	97	100	-94.89	-21.14	100	97	95.84	27.65	0.952	6.51
134	97	98	-52.82	-8.8	98	97	53.13	9.97	0.315	1.17
135	100	99	60.41	15.45	99	100	-59.63	-11.8	0.774	3.65
136	100	87	153.42	86.54	87	100	-150.7	-67.98	2.727	18.55
137	84	100	-124.29	-21.39	100	84	125.21	27.65	0.921	6.26
138	80	84	-78.5	13.85	84	80	78.92	-10.99	0.419	2.86
139	81	86	30.55	17.53	86	81	-30.48	-17.01	0.075	0.52
140	99	98	-28.85	-9.24	98	99	28.98	9.73	0.136	0.48
141	102	101	-46.25	-32.12	101	102	46.58	33.67	0.327	1.54
142	102	99	12.25	16.12	99	102	-12.21	-15.92	0.042	0.2
143	101	90	40.42	39.36	90	101	-40.11	-37.3	0.302	2.06
144	94	98	-50.01	-23.1	98	94	51.07	26.88	1.058	3.78
145	82	94	153.42	86.54	94	82	-150.7	-67.98	2.727	8.55
146	93	92	10.26	5.66	92	93	-10	-5	0.263	0.66
147	91	93	-24.44	-11.66	93	91	24.72	12.63	0.276	0.97
148	91	93	-19.56	-9.34	93	91	19.78	10.12	0.22	0.78
149	89	90	-25.05	-7.99	90	89	25.76	10.17	0.705	2.18
150	89	88	-8.95	-9.01	88	89	9.24	9.88	0.287	0.87
151	93	90	11.98	-10.34	90	93	-11.97	10.35	0.009	0.02
152	110	103	84.26	52.14	103	110	-14.22	-81.96	55.038	0.18
153	112	110	27.41	8.85	110	112	-27.26	-8.14	0.148	0.7
154	114	103	65.13	-60.65	103	114	-65.12	60.7	0.011	0.05
155	108	109	-52	-41	109	108	52.08	41.37	0.078	0.37
156	107	109	-85.9	30.57	109	107	80.92	23.18	5.026	23.74
157	114	112	-129.13	-11.35	112	114	29.32	12.23	0.185	0.87
158	111	112	82.91	43.39	112	111	-80.72	-33.07	2.185	10.32
159	111	113	53.09	11.44	113	111	-53	-11	0.093	0.44
160	88	80	-125.24	-111.88	80	88	125.82	116.68	0.580	14.8
161	90	81	-41.79	-19.52	81	90	41.95	23.18	0.156	3.66
162	93	86	-56.73	-28.08	86	93	56.79	31.58	0.057	3.5
163	41	42	-82.69	-49.1	42	41	82.8	55.81	0.108	6.7
164	57	58	-72.58	-38.94	58	57	72.66	44.21	0.085	5.26
165	43	44	-43.19	-27.96	44	43	43.27	30.76	0.077	2.8
166	59	60	-113.54	-34.36	60	59	113.63	37.65	0.089	3.3
167	63	64	-65.71	-43.63	64	63	65.94	42.3	0.235	8.67
168	71	72	-51.2	-30.44	72	71	51.24	33.02	0.042	2.58
169	18	17	-147.45	-65.64	17	18	147.79	78.29	0.343	12.65

170	20	21	-101.29	-28.36	21	20	101.43	33.77	0.147	5.41
171	26	27	-62.81	-18.84	27	26	62.9	24.89	0.098	6.05
172	26	28	-39.68	-6.15	28	26	39.72	8.41	0.037	2.27
173	30	31	-110	-95	31	30	110.01	95.52	0.007	0.52
174	47	48	-41.74	-20.6	48	47	41.76	22.16	0.025	1.56
175	76	74	-12	-6	74	76	12.02	6.62	0.016	0.62

Interprétation

Alors on peut dire que les résultats obtenus concernant sont des valeurs respectent les contraintes de l'écoulement de puissance tel que le min et le max d'une tension ainsi que les puissances générés par chaque centrale. D'après ces résultats on conclure que les puissances qui doivent être générées par chaque centrale sont acceptables et dans leur limite comme suivant :

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g4} \leq 450 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g5} \leq 450 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g11} \leq 100 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g15} \leq 100 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g17} \leq 450 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g19} \leq 150 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g22} \leq 150 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g52} \leq 150 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g80} \leq 150 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g83} \leq 100 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g98} \leq 100 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g100} \leq 200 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g101} \leq 200 \text{ Mw}$$

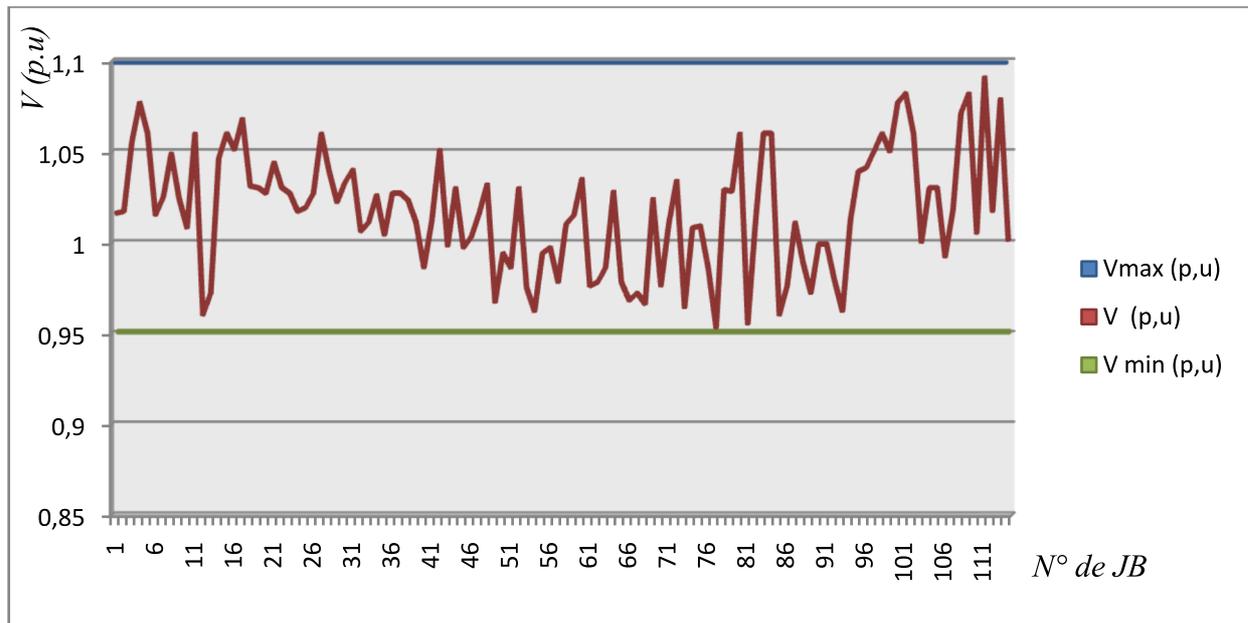
$$0 \text{ Mw} \leq P_{g109} \leq 100 \text{ Mw}$$

$$0 \text{ Mw} \leq P_{g111} \leq 100 \text{ Mw}$$

La même chose que la tension :

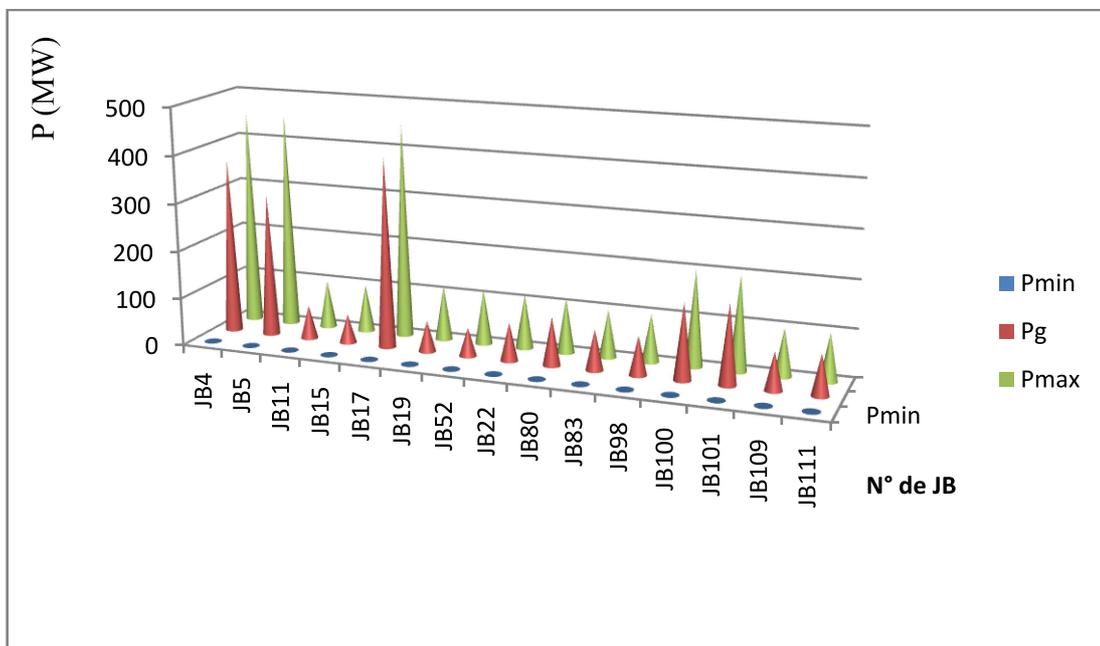
$$0.95 \text{ p.u} \leq V_i \leq 1.1 \text{ p.u}$$

Cette figure montre que les modules des tensions dans leurs limites.



(Fig.III.3) Etats des modules des tensions par rapport aux leurs limites.

La courbe suivante démontre l'état des puissances générées par rapport aux conditions aux limites (contrainte d'inégalité de l'EP).



(Fig.III.4) Etat des puissances générées par rapport aux leurs limites.

Interprétation

D'après la courbe, nous observons que les puissances générées pour obtenir une valeur dans l'intervalle précisé par les puissances maximales et minimales, qui peuvent être générées par les centrales. La valeur de perte obtenue est alors acceptable.

III.4.2. Limites de transition des lignes

Tableau 3.8 : L'analyse des puissances dans les lignes du réseau Algérien						
Num de ligne	Les lignes		Valeurs absolues des Puissances transités	Puissances transitées maximales	Taux = Str / Strmax	
	Unité	départ	Arrivé	MVAR	MVAR	%
1		1	2	99.705	250	39.8820
2		1	6	101.6763	250	40.6705
3		6	2	42.2987	200	21.1493
4		42	4	111.2618	250	44.5047
5		42	4	152.1914	450	33.8203
6		3	4	218.7893	500	43.7579
7		3	5	80.7589	450	17.9464
8		4	5	175.2742	450	38.9498
9		7	4	114.1640	250	45.6656
10		16	15	80.7127	200	40.3563
11		3	16	77.7300	200	38.8650
12		14	16	150.7349	200	75.3675
13		42	8	85.9932	200	42.9966
14		4	8	78.7569	250	31.5028
15		7	10	129.2330	250	51.6932
16		11	10	88.8585	250	35.5434
17		6	7	125.3221	250	50.1288
18		42	11	134.1645	250	53.6658
19		3	6	102.6470	200	51.3235
20		2	9	141.0432	450	31.3429
21		3	9	188.0802	450	41.7956
22		12	13	134.4384	250	53.7754
23		13	10	111.2062	250	44.4825
24		21	17	158.7338	200	79.3669
25		21	17	139.4453	200	69.7227

26	72	17	87.2473	200	43.6236
27	27	17	97.6456	300	32.5485
28	31	17	164.2802	350	46.9372
29	28	31	140.6006	300	46.8669
30	64	17	79.5828	200	39.7914
31	44	21	101.8027	200	50.9014
32	31	60	129.8454	450	28.8545
33	60	21	79.5564	250	31.8226
34	44	60	90.3176	250	36.1270
35	44	58	86.4151	250	34.5660
36	101	72	125.3738	250	50.1495
37	58	72	88.2753	250	35.3101
38	75	58	94.8824	250	37.9530
39	107	75	76.5022	250	30.6009
40	74	75	93.7224	250	37.4890
41	42	44	124.1871	200	62.0936
42	42	44	125.6479	250	50.2592
43	48	42	138.2106	450	30.7135
44	44	48	140.7963	450	31.2881
45	101	107	76.3432	250	30.5373
46	97	64	106.1763	200	53.0881
47	96	72	79.6306	200	39.8153
48	98	96	59.6833	200	29.8417
49	95	96	58.9102	200	29.4551
50	22	18	28.0505	80	35.0631
51	37	18	26.4408	80	33.0510
52	22	37	27.5252	80	34.4065
53	26	19	29.3569	60	48.9282
54	26	19	29.3569	60	48.9282
55	34	19	42.2327	80	52.7909
56	18	20	20.9714	50	41.9428
57	24	20	18.2944	40	45.7360
58	24	20	18.6890	40	46.7225
59	29	20	19.5622	40	48.9055
60	35	20	25.4537	40	63.6343
61	29	35	12.1678	40	30.4195
62	32	20	13.7715	60	22.9525
63	32	22	21.9469	60	36.5782

64	24	22	18.6134	60	31.0223
65	24	22	18.6134	60	31.0223
66	31	23	24.3154	60	40.5257
67	36	23	19.4895	60	32.4825
68	31	36	20.5231	60	34.2052
69	18	33	46.0546	60	76.7577
70	33	32	33.3218	60	55.5363
71	25	26	18.6863	30	62.2877
72	25	24	44.7928	60	74.6547
73	34	26	44.0296	60	73.3827
74	26	29	29.9624	60	49.9373
75	39	29	22.3607	80	27.9509
76	34	38	22.4460	80	28.0575
77	73	18	21.0206	50	42.0412
78	73	18	25.1506	60	41.9177
79	18	62	35.2980	60	58.8300
80	52	20	21.9358	50	43.8716
81	52	20	31.9233	50	63.8466
82	59	54	24.4983	50	48.9966
83	59	52	15.0472	50	30.0944
84	51	57	42.4772	60	70.7953
85	77	57	27.6158	60	46.0263
86	53	52	21.8838	35	62.5251
87	54	53	13.6583	35	39.0237
88	31	52	19.7794	50	39.5588
89	70	71	22.9050	35	65.4429
90	41	40	19.3111	50	38.6222
91	50	40	25.8558	35	73.8737
92	41	71	37.4279	60	62.3798
93	68	70	14.8167	35	42.3334
94	46	43	41.4611	60	69.1018
95	43	51	23.3418	35	66.6909
96	55	54	46.8941	60	78.1568
97	43	55	44.2761	60	73.7935
98	62	73	39.8377	60	66.3962
99	67	73	26.2990	40	65.7475
100	67	68	30.1583	40	75.3958
101	26	29	29.9624	60	49.9373

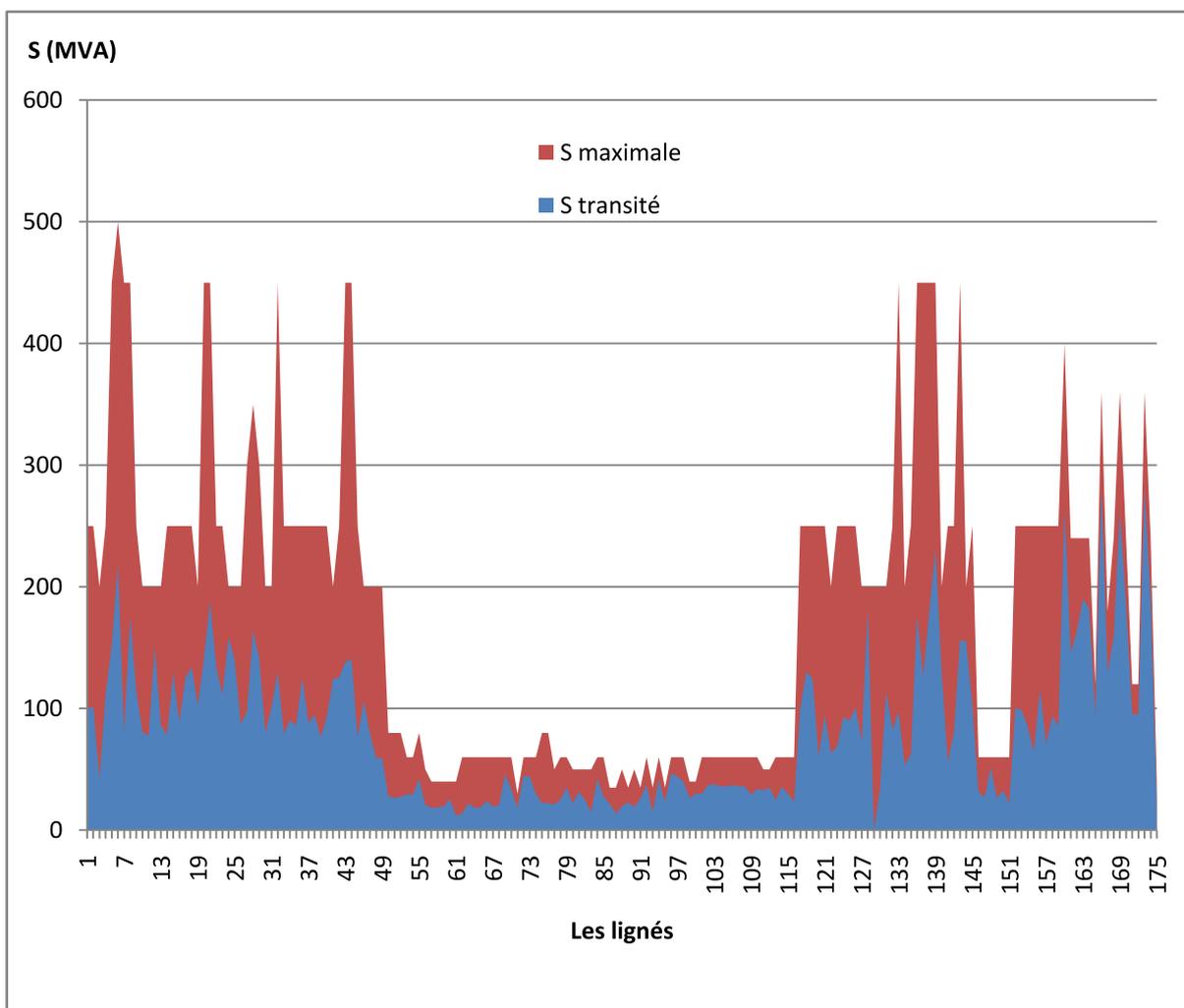
102	66	73	37.0750	60	61.7917
103	66	63	37.8672	60	63.1120
104	65	63	36.0415	60	60.0692
105	65	63	36.0415	60	60.0692
106	54	56	37.0841	60	61.8068
107	56	57	36.1400	60	60.2333
108	56	57	36.1400	60	60.2333
109	50	47	29.1771	60	48.6285
110	46	47	33.9527	60	56.5878
111	66	67	32.8057	50	65.6114
112	41	49	34.9794	50	69.9588
113	78	19	24.7648	60	41.2747
114	79	19	35.6525	60	59.4208
115	61	59	29.9666	60	49.9443
116	46	45	23.4927	60	39.1545
117	87	85	100.1341	250	40.0536
118	86	85	130.0749	250	52.0300
119	81	85	124.5965	250	49.8386
120	106	87	60.4699	250	24.1880
121	82	87	94.7086	250	37.8834
122	99	87	63.2513	200	31.6257
123	105	103	68.7164	250	27.4866
124	101	105	93.1223	250	37.2489
125	104	105	90.1246	250	36.0498
126	106	103	100.7477	250	40.2991
127	82	81	72.7894	200	36.3947
128	82	80	182.6929	200	91.3465
129	84	80	158.0088	200	79.0044
130	83	84	35.2305	200	17.6153
131	83	82	114.3662	200	57.1831
132	98	100	82.8827	250	33.1531
133	97	100	97.2163	450	21.6036
134	97	98	53.5480	200	26.7740
135	100	99	62.3544	250	24.9418
136	100	87	176.1445	450	39.1432
137	84	100	126.1172	450	28.0260
138	80	84	179.7124	450	39.9361
139	81	86	231.2222	450	51.3827

140	99	98	130.2936	200	65.1468
141	102	101	56.3095	250	22.5238
142	102	99	80.2464	250	32.0986
143	101	90	156.4180	450	34.7596
144	94	98	155.0873	200	77.5437
145	82	94	102.0125	250	40.8050
146	93	92	31.7176	60	52.8627
147	91	93	27.0789	60	45.1315
148	91	93	51.6755	60	86.1258
149	89	90	26.2934	60	43.8223
150	89	88	32.6997	60	54.4995
151	93	90	22.0090	60	36.6817
152	110	103	100.4197	250	40.1679
153	112	110	98.8033	250	39.5213
154	114	103	85.1710	250	34.0684
155	108	109	64.5967	250	25.8387
156	107	109	115.9014	250	46.3606
157	114	112	71.2631	250	28.5052
158	111	112	93.5776	250	37.4310
159	111	113	85.7686	250	34.3074
160	88	80	263.7792	400	65.9448
161	90	81	146.1241	240	60.8850
162	93	86	163.2991	240	68.0413
163	41	42	190.1688	240	79.2370
164	57	58	182.3661	240	75.9859
165	43	44	94.4503	120	78.7086
166	59	60	281.1711	360	78.1031
167	63	64	129.7114	180	72.0619
168	71	72	159.5654	240	66.4856
169	18	17	261.4005	360	72.6112
170	20	21	185.1853	240	77.1605
171	26	27	95.5747	120	79.6456
172	26	28	95.1538	120	79.2948
173	30	31	280.5410	360	77.9281
174	47	48	190.5466	240	79.3944
175	76	74	23.4164	40	58.5410

Interprétation

D’après le tableau précédent, Les cellules rouges signifient que les puissances transitées sont à des grandes puissances qui est laisser leur fonctionnement approche de la limite maximal de transition de la ligne électrique. Et Les cellules oranges signifient que les puissances transitées ne sont pas à la marge de transition normale, donc les lignes (82-80),(91-93),(83-84),(3-5), présentent un dépassement de puissance transité souhaitable à servir: $20\% \leq Str \leq 85\%$.

La figure suivante représente l’état de la puissance transité para pour la puissance maximale aux niveaux de chaque ligné.



(Fig.III.5) l’état de la puissance transité para pour la puissance maximale de réseau ALG.

Tableau 3.9 : les lignes qu'a des valeurs maximales de puissances transitées.

<i>Nom de ligné</i>	<i>Les lignés</i>		<i>Puissance transité</i>	<i>Puissance maximale</i>	<i>Taux</i>
Unité	départ	arrivé	MW	MW	%
128	EHADJ6	KHROU6	182.6929	200	91.3465
148	TEBE14	TEBES4	51.6755	60	86.1258

Les lignes 128 et 148 qui relient respectivement **hadjar 6**, **khroub6** et **tebes14**, **tebes4** sont à des grandes puissances qui est laisser leur fonctionnement approche de la limite maximal de stabilité de réseau électrique.

Tableau 3.10 : les lignés qu'a des valeurs minimales des puissances transités.

<i>Nom de ligné</i>	<i>Les lignés</i>		<i>Puissance transité</i>	<i>Puissance maximale</i>	<i>Taux</i>
Unité	Départ	arrivé	MVAR	MVAR	%
7	1MEHA26	1ZAHAN6	80.7589	450	17.9464
130	3RADJA6	3SKIKD6	35.2305	200	17.6153

Par contre les lignes 7 et 130 qui relient respectivement **1meha26**, **1zahan6** et **3radja6**, **3skikd6** sont représentés des charges de la puissance transitée au dessous des valeurs minimal admissibles pour accomplir le bien fonctionnement de réseau étudié.

Conclusion et perspectives

Après l'analyse de réseau algérien de transport d'énergie électrique sous MATPOWER par la méthode de Newton-Raphson. Nous concluons que l'écoulement des puissances, et des pertes active ainsi que les puissances transités dans chaque ligne sont acceptables généralement.

Pare contre, dans quelque lignes des réseaux Algérien les puissances transités à augmentent presque près de leur fonctionnement maximale (ligne 128 et 148), ou au dessous leur du fonctionnement minimale (lignes 7 et 130).

Finalement et comme perspective, nous souhaitons que la prochaine étude de traitement le problème du choix de l'emplacement des types des FACTS, ainsi que leur influence sur la stabilité de tension et sur les pertes actives et réactives de ce réseau électrique.

Aussi de prolonger les études ci-dessus sous des environnements dérégulés et autres facteurs de perturbation. Nous proposons aussi d'utiliser des autres techniques et des autres méthodes de décision.



CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

On a décrit, dans ce travail l'importance de l'écoulement de puissance, en abordant les méthodes de résolution des équations non-linéaires de Newton-Raphson pour le calcul de l'écoulement de puissance de réseau algérien.

Après notre analyse de réseau algérien de transport d'énergie électrique, sous MATPOWER qui utilise sous l'environnement MATLAB 7.9. Nous concluons que l'écoulement des puissances, et les pertes actives et réactives ainsi que les puissances transitées dans chaque ligne sont acceptables généralement.

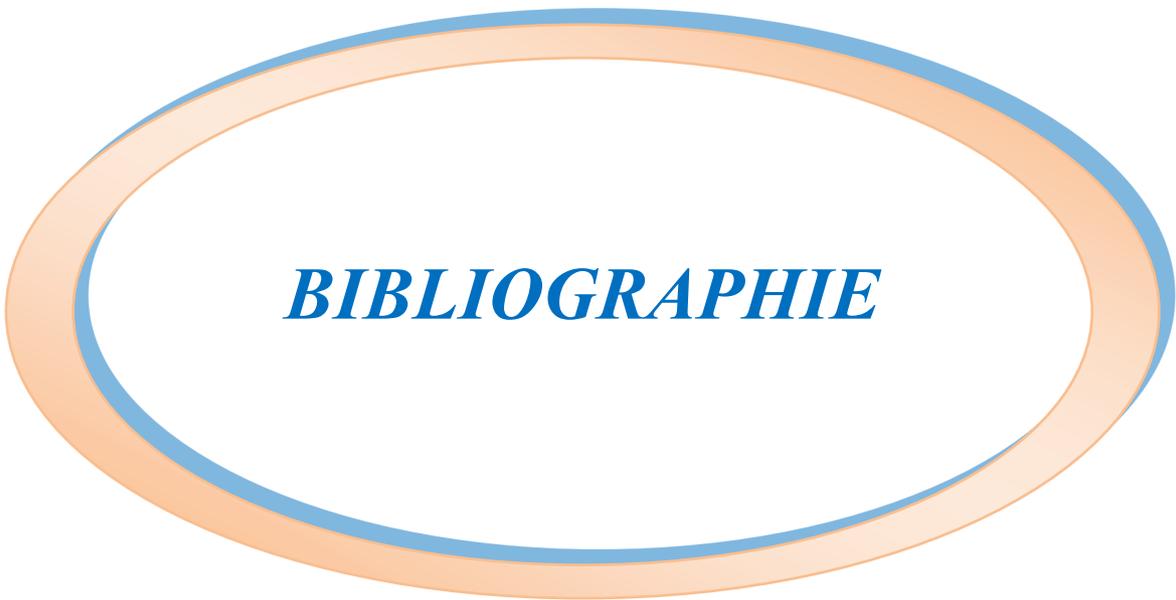
Pare contre, dans quelques lignes des réseaux Algérien les puissances transitées augmentent presque près de leur fonctionnement maximale, ou au-dessous leur du fonctionnement minimale. Il faut donc planifier les puissances actives et réactives de chaque centrale électrique, de telle sorte que les pertes de puissances dissipées dans les lignes de transmission soient minimales. D'une autre façon, il faut varier les puissances actives et réactives des générateurs dans certaines limites afin de satisfaire la demande particulière de la charge avec une perte de puissance minimale.

On a délibéré des résultats et des remarques très importantes montrant que le réseau Algérien présente des performances acceptables de point de vue d'une perte de puissance, ainsi qu'un respect des conditions techniques relative à la tension et la puissance générée au niveau de chaque jeu de barres.

C'est pour ces raisons que nous proposons à nos futurs collègues pour améliorer ce résultat en utilisant des systèmes FACTS, afin de s'éloigner des limites de stabilité.

Il reste, toutefois, beaucoup de voies à explorer afin de poursuivre et compléter notre travail, et qui se résument, non exhaustivement, dans les points suivants :

- Etude comparative avec les algorithmes métaheuristiques appliqués à la résolution du dispatching économique.
- Extension de cette étude à résoudre le problème multi-objectif.



BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

- [01] Laiadi Belkacem, " compensation dynamique de l'énergie réactive dans les réseaux électrique ", Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, Université de Biskra Juin 2005.
- [02] Lotfi Bagali, ' Réalisation d'un Environnement Graphique Avec Base de données pour l'Analyse et la Simulation de Réseaux Electriques', Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, ECOLE NATIONAL POLYTECHNIQUE, JUIN 2004.
- [03] Dahnoun Ilyes" Etude de la fiabilité du réseau électrique composé: "production et transport""", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme : MASTER. Université de Biskra, juin 2013.
- [04] Maouche Khaled. Hicher Saad "simulation des réseaux électriques par matlab ", Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état En Électrotechnique, Université de Biskra, juin 2008.
- [05] Ahad Kazemi and Babak Badrezadeh «Modeling and Simulation of SVC and TCSC to study their Effects on Maximum Loadability point».
- [06] GACEM Abdelmalek (Utilisation des Méthodes d'Optimisations Méta heuristiques Pour La Résolution Du Problème De Répartition Optimale De La Puissance Dans les Réseaux Electriques) MEMOIRE magistère de Centre Universitaire d'El-oued, 2010.
- [07] **(Kundur, 1994). Kundur P.**, Power System Stability and Control. The EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill. Inc.1994.
- [08] **Custem T.V.**, Systèmes électriques de Puissance I. Cours ELEC 029, Département d'Electricité, Electronique et Informatique : Institut Montefiore, Université de Liège,2002.
- [09] MOUASSA Souhil, « Optimisation de l'écoulement de puissance par une méthode métaheuristique (technique des abeilles) en présence d'une source renouvelable (éolienne) et des dispositifs FACTS », thèse de magister en Electrotechnique de "Université de Setif1, Algérie.
- [10] **J.B.Gupta**, A cours in power systems, 14 juillet 2005.
- [11] **Arthur R.Bergen et Vijay Vittal**, Power System Analysis, 2000.
- [12] **Dr : Naimi Djami** « Modélisation des réseaux électriques ». Cours mastère1. Université de Biskra, 2008/2009.
- [13] Mr.MAHDAD BELKACEM 'cours ETL 535'.
- [14] Commission AMPERE Rapport principal « Evaluation de la production centralisée et décentralisée – Effets sur le réseau ».

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [15] Dr. Cornel Ensslin Dr. Karsten Burges « perspectives d'introduction sur le marche de technologies innovantes améliorant l'intégration des ser-e dans les réseaux électriques » de 21 janvier 2008
- [16] T. Gönen « Electric Power System Engineering: Analysis and Design » John Wiley & Sons, 1988.
- [17] Giuseppe Fusco, Mario Russo « Adaptive Voltage Control in Power Systems Modeling, Design and Applications » Université degli Studi di Cassino, Italie.
- [18] M.OULD CHEIKHNA et S.GHIBOUB, « l'impact de compensateur shunt (svc) sur la stabilité des réseaux électriques », Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, Université de Biskra, Juin 2009
- [19] A. Edris et al. „ Proposed Terms and Definition of FACTS, ” IEEE trans. on power delivery, 12(4):1884-1853, October 1997.
- [20] Rabah BENABID, “Optimisation Multiobjectif de la Synthèse des FACTS par les Particules en Essaim pour le Contrôle de la Stabilité de Tension des Réseaux Electriques”, thèse de Magister en Electrotechnique de l'Université de Amar Telidji, Laghouat, le 04/09/2007.
- [21] Eskandar GHOLIPOUR SHAHRAKI, „Apport de L'UPFC sur la stabilité des réseaux électriques”, thèse de doctorat de l'Université de Henri Poincaré, NancyI, le 13octobre 2003.
- [22] Alexander OUDALOV, “Coordinated Control of Multiple FACTS devices in an Electric Power System,” These PHD, Ecole polytechnique de Lausanne, Lausanne 2003.
- [23] Lajadi.B et kherifi.M.S, 3, “compensation dynamique de l'énergie réactive dans les réseaux électriques”,mémoire d'ingénieur en électrotechnique ,université de Biskra , promotion 2005.
- [24] bdelaàli.Alibi,“Controle des réseau électriques par les systems FACTS , thèse de magister, université des Batna,13/06/2009.
- [25] **Philip Moore, Peter Ashmole**, "Fkexible AC transmission systems part 2 Methods of transmission line .
- [26] Site internet de sonalgez.
- [27] Power Systems Engineering Research Center (PSERC) School of Electrical Engineering Cornell University, Ithaca, NY 14853.