

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 électriques

Réf: .....

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

**MASTER**

*Thème*

**Analyse de réseau électrique algérien de  
transport d'électricité**

Présenté par :  
**Rouagat Mohamed**  
Soutenu le : 01 Juin 2014

Devant le jury composé de :

Mr : Bahri Mebarek

Mr : Naimi Djemai

Mr : Salhi Ahmed

MCA

MCB

MAA

Président

Encadreur

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 électriques

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

**MASTER**

*Thème*

**Analyse de réseau électrique algérien de  
transport d'électricité**

Présenté par :

Rouagat Mohamed

Avis favorable de l'encadreur :

Naimi Djemai

*signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

**BAHRI MEBAREK**

*Signature*

**Cachet et signature**

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 électriques

## *Thème :*

# Analyse de réseau électrique algérien de transport d'électricité

Proposé par : Mr. Naimi Djemai

Dirigé par : Mr. Naimi Djemai

## RESUMES (Français et Arabe)

Le but de ce mémoire est de démontrer les développements positifs du réseau national et analyse spécifiquement celui le réseau de transport qui proposé par SONELGAZ dans l'année 2007, il se compose de 15 centrales de production ,plus de ça il y'à 114 jeux de barre connecté par 175 lignes de transport et 16 postes de transformation.

Dans cette étude nous avons analysé le réseau électrique algérien de transport, en utilisant un logiciel adéquat dit PSAT ou plusieurs comparaison ont été établis montrant ainsi l'efficacité cette étude.

## ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو إبراز ما سيحدث من تطور للشبكة الوطنية و بالأخص تحليل شبكة النقل المقترحة من طرف المؤسسة الوطنية لتوزيع الكهرباء و الغاز (SONELGAZ) في عام 2007، حيث تحتوي هذه الشبكة على مكونات جديدة منها 15 محطة توليد للكهرباء بالإضافة إلى عدد كبير من قضبان التجميع وهي 114 قضيب تجميع موزعة على جميع أنحاء الوطن متصلة فيما بينها عن طريق 175 خط نقل، وكذلك 16 مركز تحويل للطاقة الكهربائية في هذه الدراسة قمنا بتحليل الشبكة الكهربائية الوطنية للنقل في وضعيات مختلفة. هذا التحليل كشف وجود عدة عيوب متعلقة بفرق الكمون على مستوى جميع قضبان التجميع و ضياعات الطاقة وذلك باستعمال برنامج ملاءم متمثلا في PSAT حيث أظهرت نتائج المقارنات فعالية هذه الدراسة.

## *REMERCIEMENT*

*Au terme de ce travail, Mes remerciements les plus vifs, vont à mon encadreur **MCB. NAIMI DJEMAI** Maître au département d'électrotechnique de l'Université de Biskra d'avoir accepté d'être le rapporteur de ce mémoire, pour ces précieux conseils et encouragements tout au long de ce travail. pour son aide, son orientation judicieuse.*

*J'adresse mes remerciements le président **MCA.BAHRI MEBAREK** et membres du Jury **MAA.SALHI AHMED** de l'intérêt dont il font preuve à notre égard pour lire ce mémoire et en assistant à notre soutenance..*

*Je remercie également tous les enseignants de département d'électrotechnique de l'université de Biskra qui ont participé à mon étude pendant tout le cycle universitaire.*

*Enfin, je désire adresser mes remerciements à toutes les personnes qui, par leur assistance, ont contribué de près ou de loin à rendre possible la réalisation de cette recherche.*

# Liste des tableaux

## Liste des tableaux

Titres	Page
<b>Tableau II-1</b> : les codes Régions .....	33
<b>Tableau II-2</b> : Codes des niveaux de tension dans le RE algérien .....	33
<b>Tableau II-3</b> : représenté les informations principaux de réseau électrique algérien .....	35
<b>Tableau II-4</b> : <b>Tableau</b> des domaines de tension .....	37
<b>Tableau II-5</b> : Bus-data du réseau Algérien .....	38
<b>Tableau II-6</b> : Informations des lignes du réseau Algérien .....	41
<b>Tableau III-1</b> : résultats de simulation de réseau électrique algérien de transport sous PSAT.....	55
<b>Tableau III-2</b> : les puissances transités et les pertes dans les lignes .....	58

## Liste des figures

---

Titres	Page
Fig I-1: Schéma de principe d'un réseau radial.....	5
Fig I-2 : Schéma de principe d'un réseau bouclé.....	5
Fig I-3 : Schéma d'un réseau maillé.....	6
Fig I-4 : jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission... ..	13
Fig I-5 : Représentation géométrique de la méthode de N-R.....	14
Fig I-6: Schéma d'une réactance commandée par thyristor (TCR).....	24
Fig I-7 : Schéma d'un condensateur commandé par thyristor (TSC) .....	24
Fig I-8 : Caractéristique (tension-courant) d'un SVC.....	25
Fig I-9 : Schéma technique d'un SVC .....	25
Fig I-10 : Schéma d'une sous station HT contenant un Compensateur SVC .....	25
Fig I-11 : Schéma du SVC et TCBR.....	26
Fig I-12: Schéma de base du STATCOM.....	27
Fig I-13 : Structure du TCSC.....	28
Fig I-14 : structure du TSSC.....	28
Fig I-15 : Structure du TCSR.....	28
Fig I-16 : schéma de base du SSSC.....	29
Fig I-17 : Schéma du TCPAR.....	29
Fig I-18: Schéma de base de l'IPFC.....	30
Fig I-19 : Schéma de base de l'UPFC.....	30
Fig II-1 : représente la carte de réseau électrique algérien de transport.....	34
Fig II-2 :Les transits sur les lignes d'interconnexion Algérie-Maroc et Algérie Tunisie	35
Fig.II-3 :Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie.....	36
Fig. II-4: Consommation régionale 18/12/2006.....	37
Fig III.1 : le modèle voulu.....	48
Fig III.2: Bibliothèque du Simulink.....	49
Fig III.3: Block paramètres de JB.....	49
Fig III.4: Block paramètres de générateur .....	50
Fig III.5: Block paramètres de JB de référence.....	51
Fig III.6: Block paramètres de JB de contrôle.....	52
Fig III.7: Block paramètres de JB de charge.....	53
Fig III.8: Block paramètres de ligne.....	54
Fig III-9 : comparaison entre Pmax et Pgen.....	62
Fig III-10 : la tension en fonction des jeux de barre.....	63

## Liste des Symboles et Acronymes

Symboles	ACRONYMES
Pu	Unité relative
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission Systems
<i>IGBT</i>	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
<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.
$P_{Gi}$	La puissance électrique active générée par la centrale i (W).
$V_{imax}$	La tension maximale au niveau du JB i (V).
$V_{imin}$	La tension minimale au niveau du JB i (V).
$P_{Gi min}$	La puissance active générée minimale dans le JB i (W).
$P_{Gi max}$	La puissance active générée maximale dans le JB i (W).
$Q_{Gi max}$	La puissance réactive générée maximale dans le JB i (VAR).
$Q_{Gi min}$	La puissance réactive générée minimale dans le JB i (VAR).
$S_i$	La puissance apparente de jeu de barre i (VA).
$\bar{Z}$	L'impédance équivalente de la ligne ( $\Omega$ ).
$\bar{V}_i$	La valeur complexe de la tension au niveau du JB i (V).
g	Les contraintes d'égalité.

## Liste des Symboles et Acronymes

---

$\theta_i$	angle de phase de la tension au niveau du JB i (degré).
$\Delta V$	La valeur de la chute de tension dans la ligne de transport (V).
$n_g$	le nombre des générateurs inclure les JB de contrôle.
$x$	Le vecteur des variables d'état.
$U$	Le vecteur des variables de contrôle.
$a_i, b_i, c_i$	Les coefficients des puissances générées pour un générateur i.
$S_{Di}$	La puissance apparente demandée au niveau du JB i (VA)
$ V $	Le module de la tension.
$P_m, P_m^i$	les puissances actives calculées et indiquées pour les JB (PV).
$S_i$	La puissance apparente au niveau du JB i (VA).
$S_{Gi}$	La puissance apparente générée au niveau du JB i (VA).
$I_i$	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.

### Résumé

Le but de ce mémoire est de démontrer les développements positifs du réseau national et analyse spécifiquement celui le réseau de transport qui proposé par SONELGAZ dans l'année 2007, il se compose de 15 centrales de production ,plus de ça il y'a 114 jeux de barre connecté par 175 lignes de transport et 16 postes de transformation et partant du principe que l'écoulement de puissance est l'indice idéal de l'état de réseau électrique, cette étude a pour objectif d'analyse l'écoulement de puissance du réseau. Cette analyse à révéler des anomalies relative aux : Profil de la tension au niveau de tous les jeux de barres, les pertes de puissance active et réactive à travers toutes les lignes de réseau. Un recours aux dispositifs FACTS a été fait pour enlever ces anomalies. Cette étude a été appliquée sur le réseau électrique algérien de transport, en utilisant un logiciel adéquat dit PSAT ou plusieurs comparaison ont été établis montrant ainsi l'efficacité cette étude.

**Mots-clés :** Ecoulement de puissance, Réseau électrique, Pertes de puissance, FACTS.

#### ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو إبراز ما سيحدث من تطور للشبكة الوطنية و بالأخص تحليل شبكة النقل المقترحة من طرف المؤسسة الوطنية لتوزيع الكهرباء و الغاز (SONELGAZ) في عام 2007، حيث تحتوي هذه الشبكة على مكونات جديدة منها 15 محطة توليد للكهرباء بالإضافة إلى عدد كبير من قضبان التجميع وهي 114 قضيب تجميع موزعة على جميع أنحاء الوطن متصلة فيما بينها عن طريق 175 خط نقل، وكذلك 16 مركز تحويل للطاقة الكهربائية، و إنطلاقا من كون حساب سريان القدرة يمثل مؤشرا مثاليا لمعرفة وضعية الشبكة الكهربائية، تهدف هذه الدراسة إلى إستعمال هذا الحساب لتحليل الشبكة الكهربائية في وضعيات مختلفة. هذا التحليل كشف وجود عدة عيوب متعلقة بفرق الكمون على مستوى جميع قضبان التجميع و ضياعات الطاقة عبر كل خطوط الشبكة المقترحة من طرف المؤسسة الوطنية لتوزيع الكهرباء والغاز وذلك باستعمال برنامج ملائم منمثلا في PSAT حيث أظهرت نتائج المقارنات فعالية هذه الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** سريان القدرة، شبكة كهربائية، ضياعات الطاقة، الوسائل المرنة التعويض الرجعي

# Sommaire

---

Remerciements	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste des Symboles et Acronymes	
Résumé	
Sommaire	
Introduction générale.....	1

## Chapitre 1 : L'écoulement de puissance et les dispositifs FACTS dans les réseaux électriques

I-1.Introduction .....	4
I-2. structure topologique des réseaux de transport.....	4
I-2-1.Réseaux radiaux .....	4
I-2-2.Réseaux bouclés .....	5
I-2-3. Réseaux maillés .....	6
I-3.Les réseaux d'interconnexion .....	6
I-4.Les équations de l'écoulement de puissance .....	8
I-4-1.L'équations de l'écoulement de puissances dans les lignes .....	9
I-4-2.L'équations de l'écoulement de puissance (sous forme réelle) .....	10
I-4-3.Classification des variables de l'écoulement de puissance .....	10
I-4-3-1.Les variables de perturbation ou non contrôlables .....	11
I-4-3-2.Les variables de contrôle et d'état .....	11
I-4-4.Classification des jeux de barres selon leurs spécifications .....	11
I-4-4-1. Jeu de barres de charges (PQ bus) .....	12
I-4-4-2. Jeu de barres de contrôle (PV bus) .....	12
I-4-4-3. Jeu de barre de référence .....	12
I-4-5.Forme générale des équations de l'écoulement de puissance .....	12
I-5.Les méthodes de calcul .....	14
I-5-1.méthode de Newton Raphson .....	14
I-5-1-1.Représentation géométrique de la méthode de N-R .....	14
I-5-1-2.Algorithme de N-R dans un système de dimension n .....	15
I-5-1-3.Algorithme de N-R appliquée aux équations de l'écoulement de puissance.....	16
I-5-1-3-1.Les coordonnées rectangulaires .....	16
I-5-1-3-2.Les coordonnées polaires .....	19
I-5-2.Méthode de Gauss-Seidel.....	21
I-5-2-1.Principe de la méthode de Gauss Seidel.....	21
I-5-2-2.Application à la solution des équations de l'EP.....	21
I-5-2-3. Algorithme de GAUSS.....	22
I-5-3.Alors on peut formuler la remarque suivante .....	22
I-6.Les systèmes FACTS.....	22
I-6-1. Définition.....	22
I-6-2. Concept de FACT.....	22
I-6-3. Principes de fonctionnement des FACTS .....	23
I-6-4.Les types des dispositifs FACTS .....	23
I-6-4-1. Compensateurs parallèles .....	23
I-6-4-1-1.Compensateurs parallèles à base de thyristors .....	24
I-6-4-1-2. Compensateurs parallèles à base de GTO thyristors .....	26
I-6-4-2. Compensateurs séries .....	27
I-6-4-2-1. Compensateurs séries à base de thyristor .....	27
I-6-4-2-2. Compensateurs séries à base de GTO thyristors .....	29

I-6-4-3. Compensateurs série- parallèle.....	29
I-6-4-3-1. Compensateurs hybrides à base de thyristors .....	29
I-6-4-3-2. Compensateurs hybrides à base de GTO thyristors .....	30
I-6-5. Etat de la technologie et expériences .....	31
I-6-6. Les avantages de la technologie des dispositifs FACTS .....	31
I-7. Conclusion .....	31

### Chapitre 2 : Le réseau électrique algérien de transport

II-1. Introduction .....	33
II-2. Structure générale du réseau électrique algérien .....	33
II-3. carte de réseau électrique algérien de transport .....	34
II-4. Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie.....	36
II-5. Gamme des tensions utilisées par le groupe SONELGAZ .....	37
II -6 .les données de réseaux électriques algérien de transport 114 jeux de barre .....	38
II -6-1 .Bus – data .....	38
II -6-2-Line – data .....	41
II-7.conclusion .....	45

### Chapitre 3 : Résultats et interprétations

III-1. Introduction .....	47
III-2. Définition de logiciel PSAT .....	47
III-3. Utilisation logicielle PSAT.....	47
III-3-1. Comment ça marche.....	48
III-4. Méthode de création les donner dans un réseau .....	49
III-4-1. les jeux de barre .....	49
III-4-2. les générateurs .....	50
III-4-3. Le Symbole de JB de référence .....	51
III-4-4. Le Symbole de JB de contrôle .....	52
III-4-5. les charges .....	53
III-4-6. les lignes .....	54
III-5. Modèle de test du travail .....	54
III-7. Les résultats obtenu de simulation sous PSAT.....	55
III-8. Comparaison entre Pmax et Pgen.....	62
III-9. Le profil de la tension.....	63
III-10. Conclusion.....	63
CONCLUSION GENERALE .....	65
BIBLIOGRAPHIE .....	66

# Introduction générale

# Introduction générale

---

## Introduction générale

L'électricité est un vecteur énergétique indispensable aux activités humaines dans les pays développés et un facteur essentiel de développement pour les pays pauvres. Les réseaux sont des éléments-clés pour assurer une alimentation fiable et de qualité en énergie électrique, l'introduction de nouveaux systèmes de production ou de gestion de l'énergie électrique doit en conséquence faire l'objet d'études approfondies pour assurer la compatibilité avec un fonctionnement sûr et fiable des réseaux.

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre des centrales électriques, des lignes, des transformateurs etc., ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel.

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

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

Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux.

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.

Les premières méthodes étaient basées sur la méthode itérative de Gauss-Seidel relative à la matrice admittance  $[Y]$  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.

# Introduction générale

---

Il faudra vraisemblablement, dans l'avenir, compléter leur action en mettant en œuvre des dispositifs électroniques de puissance à grande vitesse de réponse, récemment développés et connus sous l'appellation FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) pour le contrôle des réseaux. Le développement récent des dispositifs FACTS ouvre de nouvelles perspectives pour une exploitation plus efficace des réseaux par action continue et rapide sur les différents paramètres du réseau (déphasage, tension, impédance).

Ce travail s'articule autour de l'analyse de réseau électrique algérien de transport d'électricité pour réussir cette analyse en utilisant un logiciel de simulation plus fiable et plus simple ce logiciel nommé par le PSAT(*Power System Analysis Toolbox*) .

Dans le premier chapitre : Nous avons étudié l'écoulement de puissance dans le réseau électrique et donnons quelques informations de base sur le dispositif électronique FACTS pour voir le rôle et l'avantage de ces dispositifs dans le réseau électrique.

Dans le deuxième chapitre : nous avons donné les informations de réseau électrique algérien de transport pour voir la structure de réseau électrique algérien et les informations de base des centrales de production.

Dans le troisième chapitre nous allons simuler le réseau électrique algérien de transport sous le logiciel PSAT ce réseau se compose de 114 bus, 15 centrales de production et 16 postes de transformation et 175 lignes de transport

Et enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale et des informations pour les travaux à l'avenir.

# Chapitre n° 1

**L'écoulement de puissance et les  
dispositifs FACTS dans le réseau  
électrique**

**I-1.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 faites par des études approfondies, utilisant les méthodes numériques appliquées en ce domaine. [1]

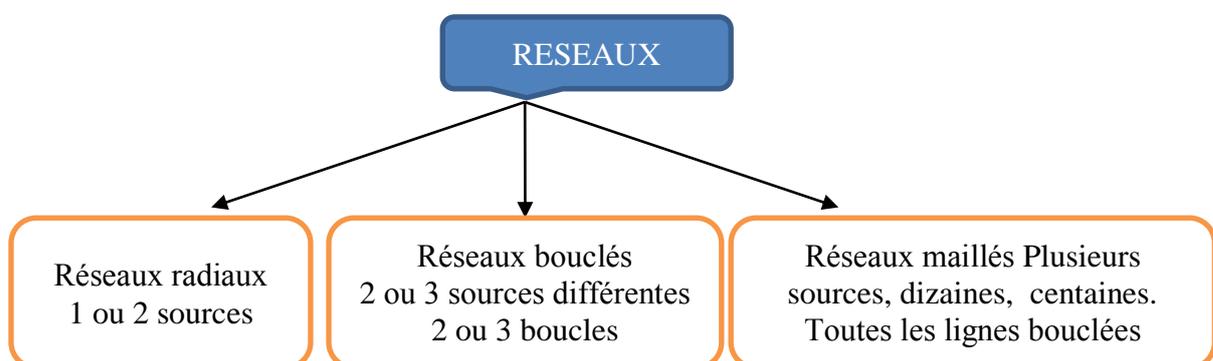
Dans ce chapitre on va utiliser les deux méthodes de Newton Raphson. et Gauss-Seidel pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance. [2] et les systèmes des dispositifs de FACTS ( Flexible Alternative Current Transmission System) sont employés pour le contrôle dynamique de tension, impédance et angle de phase de tension .

**I-2.Structure topologique des réseaux de transport :**

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

- Par les lignes aux appareillages plus solides.
- Par des circuits plus nombreux. [3]

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 de réseaux différents. [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 bouclé 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 contrôlés et protégés par un appareillage simple. Ce sont les réseaux les moins onéreux.

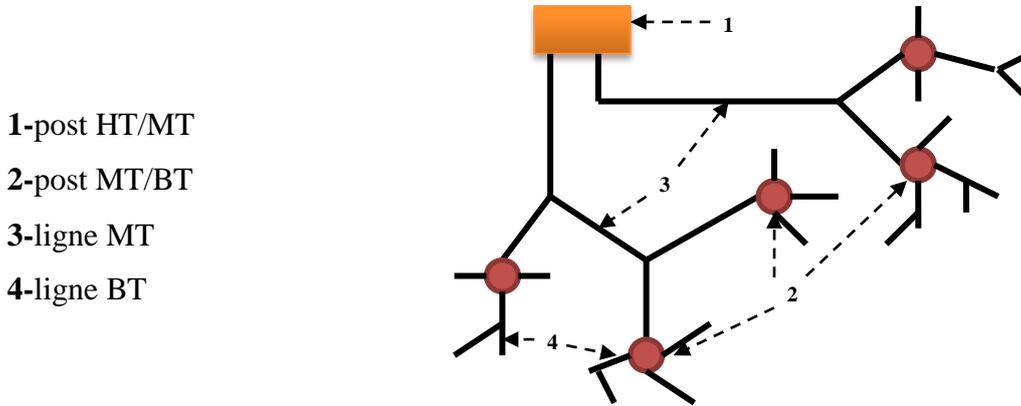


Fig I-1: Schéma de principe d'un réseau radial [3]

**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.

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. [3]

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

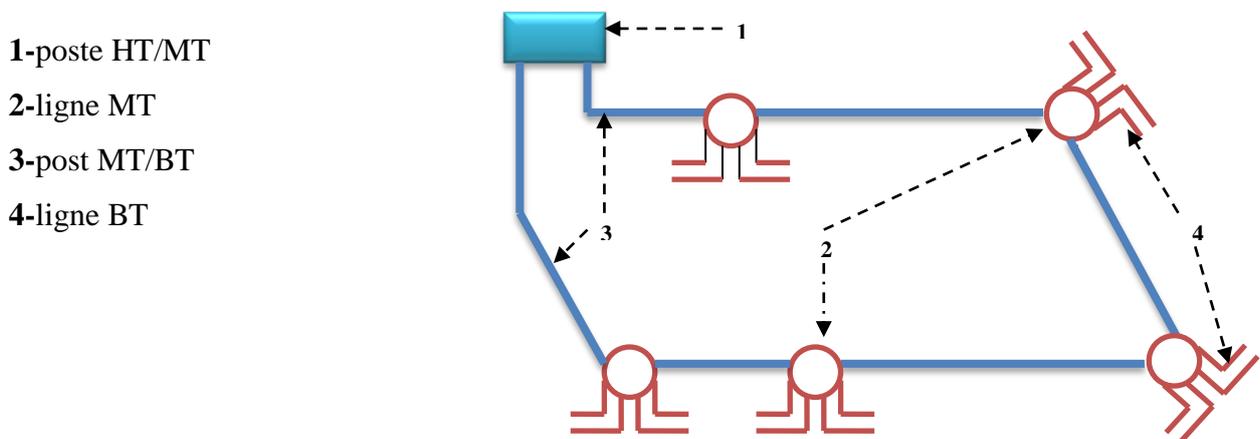


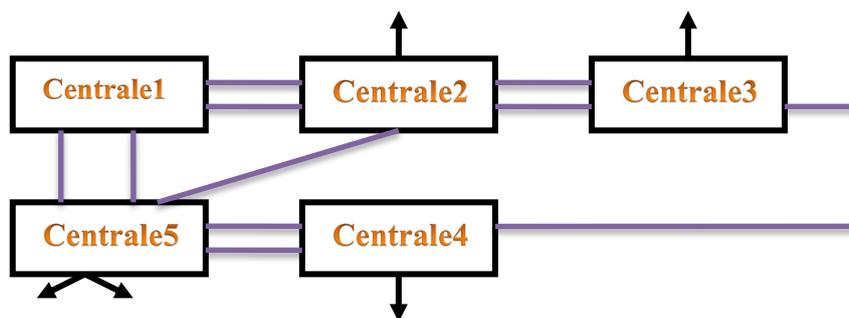
Fig I-2 : Schéma de principe d'un réseau bouclé

**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 trçons de ligne soient capable de supporter des surcharges permanentes et qu'il soient munis à leurs deux extrémités d'appareils de coupure les isolants en cas d'avarie. [3]

On obtient ainsi une meilleure sécurité



**Fig I-3 :** Schéma d'un réseau maillé

**I-3. Les réseaux d'interconnexion :**

Pour des raisons économiques (effet de taille...) ou techniques (localisation des réserves hydrauliques et des sources froides...), les unités de production sont souvent géographiquement très concentrées. Par contre la consommation est beaucoup plus dispersée.

Les réseaux de transport et d'interconnexion à très haute tension (THT) assurent la liaison entre les centres de production et les grandes zones de consommation.

Par ailleurs, le maillage du réseau contribue à la sécurité d'alimentation et permet de faire face, dans des conditions économiques satisfaisantes, aux aléas locaux ou conjoncturels qui peuvent affecter l'exploitation (indisponibilité d'ouvrage, aléas de consommation, incidents...).

Les réseaux THT contribuent donc de façon déterminante au maintien de l'équilibre entre la demande et l'offre, ainsi qu'à la sécurité d'alimentation et à l'économie de l'exploitation.

Par ailleurs, la qualité du service est également un souci majeur de l'exploitant. Sur le plan pratique, cette qualité nécessite :

- de maintenir les caractéristiques du produit (tension, fréquence) dans les limites très précises du cahier des charges ;
- de limiter les interruptions de service.

Les réseaux THT jouent aussi un rôle très important pour respecter ces contraintes car :

- les références de tension qui vont conditionner l'ensemble du plan de tension dans le réseau sont fixées, pour l'essentiel, par les groupes de production raccordés aux réseaux THT.
- la fréquence est, de même, fixée par les groupes de production qui doivent rester synchrones en régime permanent.
- la sécurité d'alimentation des grands centres de consommation dépend très fortement de la structure des réseaux de transport.

Mais il faut savoir que, compte tenu de l'inertie mécanique relativement faible de certains composants des systèmes électriques (groupes de production et moteurs) et de la grande vitesse de propagation des phénomènes, les réseaux THT créent un couplage dynamique très fort entre les moyens de production, d'une part, et les charges (consommation), d'autre part.

Au-delà de l'examen du problème de la répartition économique et en sécurité de la puissance, l'étude du fonctionnement de ces vastes systèmes interconnectés et fortement couplés est donc absolument nécessaire.

Enfin, il va de soi qu'il est nécessaire de protéger les systèmes électriques qui peuvent être affectés par de nombreux types d'incidents. Il convient de distinguer la protection des ouvrages du réseau proprement dit (lignes...) et celle du système production- transport.

La protection du système production-transport est essentielle, car certains incidents (pertes de ligne en cascade, pertes brutales de moyens de production importants...) peuvent induire des conséquences catastrophiques (effondrement du système électrique)

En définitive, l'étude du fonctionnement du système production-transport-consommation est dominée par quatre préoccupations :

- maintenir en permanence les conditions nécessaires d'un équilibre entre la production et la consommation (problème de conduite).
- maintenir les caractéristiques de la tension et de la fréquence dans les plages contractuelles (problème de réglage). [5]

**I-4. 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). [6]

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 Kirchoff appliquée à un jeu de barres nous avons:

$$I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = V_1 Y_p + (V_1 - V_2) Y_s \quad (\text{Equ I.1})$$

$$I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = V_2 Y_p + (V_2 - V_1) Y_s \quad (\text{Equ I.2})$$

NB : Les équations (Equ I.1) et (Equ I.2) sont données pour une seule phase.

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

$$\begin{cases} I_1 = \frac{S_1^*}{V_1} = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 \\ I_2 = \frac{S_2^*}{V_2} = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 \end{cases} \quad (\text{Equ I.3})$$

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 (Equ I.3) d'une manière plus simple :

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS} \quad (\text{Equ I.4})$$

$$V_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} \quad (\text{Equ I.5})$$

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 (Equ I.3), et vice versa. Si les courants sont des inconnus, les tensions aux jeux de barres seront calculées d'après (Equ I.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 (Equ I.3) à :

$$\begin{cases} S_1^* = P_1 - jQ_1 = (Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2)V_1^* \\ S_2^* = P_2 - jQ_2 = (Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2)V_2^* \end{cases} \quad (\text{Equ I.6})$$

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 (Equ I.4) et (Equ I.5), car elles ne sont pas linéaires.

#### I-4-1.L'équations 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.

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

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* (V_i - V_k)Y_{ik} + V_i^* V_i Y_p \quad (\text{Equ I.7})$$

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^* (V_k - V_i)Y_{ik} + V_k^* V_k Y_p \quad (\text{Equ I.8})$$

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 (Equ I.7) et (Equ I.8). [6]

**I-4-2.L'équations de l'écoulement de puissance (sous forme réelle) :**

On peut écrire les équations (Equ I.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 a :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^2 Y_{ik} V_k \quad i=1,2 \quad (\text{Equ I.9})$$

Chaque tension au jeu de barres  $V_i$  a une amplitude  $|V_i|$  et un angle de phase  $\theta_i$  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

$$P_i - jQ_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \exp(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{Equ I.10})$$

Séparons les parties réelles et imaginaires

$$P_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \cos(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{Equ I.11})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^2 |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \sin(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) \quad (\text{Equ I.12})$$

$i=1,2$

Pour l'exemple à deux jeux de barres on a : [6]

$$\begin{cases} P_1 = P_{G1} - P_{D1} = |Y_{11}| |V_1|^2 \cos(\gamma_{11}) + |Y_{12}| |V_1| |V_2| \cos(\theta_2 - \theta_1 + \gamma_{12}) = f_{1p} \\ P_2 = P_{G2} - P_{D2} = |Y_{22}| |V_2|^2 \cos(\gamma_{22}) + |Y_{21}| |V_1| |V_2| \cos(\theta_1 - \theta_2 + \gamma_{21}) = f_{2p} \\ Q_1 = Q_{G1} - Q_{D1} = -|Y_{11}| |V_1|^2 \sin(\gamma_{11}) - |Y_{12}| |V_1| |V_2| \sin(\theta_2 - \theta_1 + \gamma_{12}) = f_{1q} \\ Q_2 = Q_{G2} - Q_{D2} = -|Y_{22}| |V_2|^2 \sin(\gamma_{22}) - |Y_{21}| |V_1| |V_2| \sin(\theta_1 - \theta_2 + \gamma_{21}) = f_{2q} \end{cases} \quad (\text{Equ I.13})$$

**I-4-3.Classification des variables de l'écoulement de puissance :**

La dernière observation nous permet de remarquer une des plus importantes spécifications du problème. Donc il est impératif d'introduire un certain ordre sur les variables pour cette raison on les partage en groupe naturelle .

**I-4-3-1. Les variables de perturbation ou non contrôlables :**

Parmi les douze variables des équations de l'écoulement de puissance, les variables de la demande  $P_{D1}, P_{D2}, Q_{D1}, Q_{D2}$  ne sont pas contrôlables car elles dépendent seulement des utilisateurs de la puissance. Les variables de perturbation avec cette définition constituent les composantes du vecteur de perturbation P. [6]

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{bmatrix} \quad (\text{Equ I.14})$$

**I-4-3-2. Les variables de contrôle et d'état :**

Les huit variables  $|V_1|, |V_2|, \theta_1, \theta_2, P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$  peuvent facilement être groupées en deux groupes, les variables de "contrôles" et variables d'état".

- Les variables  $|V_1|, |V_2|, \theta_1, \theta_2$  sont définies comme variables d'état. Pour utiliser la notation connue dans la théorie de contrôle ces variables doivent être représentées par les variables  $X_1, \dots, X_4$
- Les variables  $P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$  sont des variables de contrôle, et qu'on préfère le symboliser par  $U_1, \dots, U_4$ ,

donc nous aurons:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ |V_1| \\ |V_2| \end{bmatrix} \quad X : \text{vecteur d'état} \quad (\text{Equ I.15})$$

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ Q_{G1} \\ Q_{G2} \end{bmatrix} \quad U : \text{vecteur de contrôle} \quad (\text{Equ I.16})$$

**I-4-4. Classification des jeux de barres selon leurs spécifications :**

On peut grouper les jeux de barres en trois catégories, en fonction des spécifications des variables utilisées :

1. Jeu de barres de référence
2. Jeu de barres de charge
3. Jeu de barres générateur (à tension contrôlée) [6]

**I -4-4-1. 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.

**I -4-4-2. 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.

**I.4.4.3. Jeu de barre de référence .**

C'est un jeu de barre connecté à une source de tension considérée constante, et sans angle de phase, il 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 du jeu de barre de contrôle.

Notons que dans un réseau électrique, les jeux de barres de charge forment de 80 à 90% de la totalité des jeux de barres.

**I-4.5. 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 :

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = P_{Gi} - P_{Di} + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \quad (\text{Equ I.17})$$

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 égal à zéro. Par analogie, par les équations (Equ I.1) et (Equ I.2) on tire l'équation du courant:

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

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  $Y_{ik} = Y_{ki} = -Y_{Sik}$

- jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission

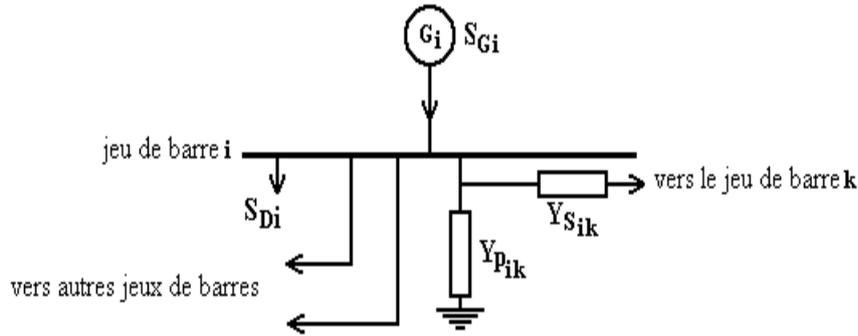


Fig I-4 : jeu de barres quelconque avec génération, charge et lignes de transmission

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

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

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

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

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

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{Equ I.18})$$

Séparons la partie réelle et imaginaire de l'équation (Equ I.18) on aura :

$$P_i = \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| \cdot |V_i| \cdot |V_k| \cos(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) = f_{ip} \quad (\text{Equ I.19})$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| \cdot |V_i| \cdot |V_k| \sin(\theta_k - \theta_i + \gamma_{ik}) = f_{iq} \quad (\text{Equ I.20})$$

Ces équations expriment l'équilibre des puissances actives et réactives au jeu de barres  $i$  à 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 lesquelles on va discuter les deux méthodes de Newton Raphson. et Gauss-Seidel. [7]

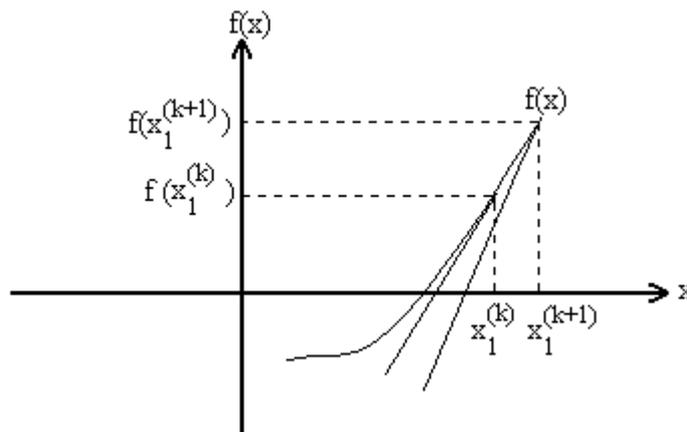
**I-5.Les méthodes de calcul:**

**I-5-1.méthode 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. [6]

**I-5-1-1.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  $(k)$ ).



**Fig I-5 :** Représentation géométrique de la méthode de N-R

**I-5-1-2. 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 :

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

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

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

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

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

$$\begin{bmatrix} f_1(x^{(0)}) \\ f_2(x^{(0)}) \\ \vdots \\ f_n(x^{(0)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)|_0 & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)|_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)|_0 \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)|_0 & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)|_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)|_0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)|_0 & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)|_0 & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)|_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{(Equ I.21)}$$

Les termes  $\left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)|_0, \dots, \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)|_0$  correspondent à 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 :  $x^{(k+1)} = x^{(k)} - [j^{(k)}]^{-1} f(x^{(k)})$

### I-5-1-3. 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.

#### I-5-1-3-1. Les coordonnées rectangulaires :

La puissance au niveau de jeu de barres est donnée par :  $P_i - jQ_i = V_i^* I_i$  (Equ I.22)

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

$$I_{BUS} = Y_{BUS} V_{BUS} \quad (\text{Equ I.23})$$

$$\text{donc: } P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (\text{Equ I.24})$$

On remplace:  $V_i = e_i + jf_i$  et  $Y_{ij} = G_{ij} - jB_{ij}$  dans l'équation (Equ I.24) :

$$P_i - jQ_i = (e_i - jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j + jf_j) \quad (\text{Equ I.25})$$

Séparons les pertes réelles et imaginaires, on aura :

$$\begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n (e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \\ Q_i = \sum_{j=1}^n (f_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \end{cases} \quad (\text{Equ I.26})$$

Cette formulation conduite 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 tous les jeux de barres sauf le jeu de barres de référence, où 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 :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \\ \vdots \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial P_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial f_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial e_{n-1}} & \vdots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial f_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_1 \\ \vdots \\ \Delta e_{n-1} \\ \vdots \\ \Delta f_1 \\ \vdots \\ \Delta f_{n-1} \end{bmatrix} \quad (\text{Equ I.27})$$

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 (Equ I.26) la puissance active est donnée par :

$$P_i = e_i(e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) + f_i(f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_i(e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) + f_i(f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \quad (\text{Equ I.28})$$

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

Les éléments non diagonales de  $J_1$  son :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_j} = e_i G_{ij} - f_i B_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ I.29})$$

Et les éléments diagonales de  $J_1$  son :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = 2e_i G_{ii} + f_i B_{ii} - f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (\text{Equ I.30})$$

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 :

$$\begin{cases} c_i = e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \\ d_i = f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \end{cases} \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{Equ I.31})$$

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 (Equ I.30) pour obtenir :

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} = e_i G_{ii} - f_i B_{ii} + c_i \quad (\text{Equ I.32})$$

De (Equ I.27), les éléments non diagonales de  $j_2$  son :

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ I.33})$$

Et les éléments diagonales de  $j_2$  son :

$$\frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + 2f_i G_{ii} - e_i B_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (\text{Equ I.34})$$

La composante imaginaire du courant de l'équation (Equ I.30) est substituée dans (Equ I.31) pour

$$\text{obtenir : } \frac{\partial P_i}{\partial f_i} = e_i B_{ii} + f_i G_{ii} + d_i \quad (\text{Equ I.35})$$

La puissance réactive de l'équation du système (Equ I.26) est :

$$Q_i = f_i (e_i G_{ii} + f_i B_{ii}) - e_i (f_i G_{ii} - e_i B_{ii}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_i (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) - e_i (f_j G_{ij} - e_j B_{ij})) \quad (\text{Equ I.36})$$

Les éléments non diagonales de  $j_3$  son :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = e_i B_{ij} + f_i G_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ I.37})$$

Les éléments diagonales de  $j_3$  son :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i G_{ii} - f_i G_{ii} + 2e_i B_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (f_j G_{ij} - e_j B_{ij}) \quad (\text{Equ I.38})$$

La composante imaginaire du courant de l'équation du système (Equ I.31) est substituée dans l'équation (Equ I.38) pour obtenir :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_j} = f_i G_{ii} e_i B_{ii} + f_i G_{ij} - d_i \quad (\text{Equ I.39})$$

De l'équation (Equ I.36), les éléments non diagonales de  $j_4$  son :m

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_j} = -e_i G_{ij} + f_i B_{ij} \quad i \neq j \quad (\text{Equ I.40})$$

Les éléments diagonales de  $j_4$  son :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = e_i G_{ii} + 2f_i B_{ii} - e_i G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (e_j G_{ij} + f_j B_{ij}) \quad (\text{Equ I.41})$$

La composante réelle du courant est substituée dans le système d'équation (Equ I.31) pour obtenir :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial f_i} = -e_i G_{ii} + f_i B_{ii} + c_i \quad (\text{Equ I.42})$$

Pour une estimation donnée des tensions aux jeux de barres, Les puissances actives et réactives sont calculées à partir des équations du système (Equ I.26).

Les écarts dans la puissance sont les différences entre les valeurs estimées et calculées.

$$\begin{aligned} \Delta P_i^{(k)} &= P_i - P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} &= Q_i - Q_i^{(k)} \end{aligned} \quad i=1,2, \dots, n-1 \quad (\text{Equ I.43})$$

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 (Equ I.27) peut être résolue pour  $\Delta e_i$  et  $\Delta f_i$ ,  $i=1,2,\dots, n$ , 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.

### **I-5-1-3-2.Les coordonnées polaires :**

En coordonnées polaires on a :  $V_i = |V_i| \exp(j\theta_i)$  et  $Y_{ij} = |Y_{ij}| \exp(-j\gamma_{ij})$

Remplaçons dans l'équation (Equ I.24), 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 :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \quad (\text{Equ I.44})$$

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

Les éléments de la matrice Jacobienne qui sont calculées à partir des équations du système (Equ I.44) sont :

$$\text{Pour } j_1 : \begin{cases} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \\ \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{cases} \quad j \neq i \quad (\text{Equ I.45})$$

$$\text{Pour } j_2 : \begin{cases} \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \\ \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i Y_{ii}| \cos(\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{cases} \quad j \neq i \quad (\text{Equ I.46})$$

$$\text{Pour } j_3 : \begin{cases} \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{cases} \quad j \neq i \quad (\text{Equ I.47})$$

$$\text{Pour } j_4 : \begin{cases} \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i Y_{ii}| \sin(\gamma_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\gamma_{ij} + \theta_i - \theta_j) \end{cases} \quad j \neq i \quad (\text{Equ I.48})$$

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 :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \dots & \vdots & \dots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \dots \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

**I-5-2.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- qui possède une valeur scientifique sûr à cause de sa simplicité.
- 2- et qui utilise dans le système à faible puissance, comme le nôtre, dans la quelle les programmes sont simples.
- 3- elle s'utilise dans des nombreux cas des grands systèmes pour obtenir une solution approximative

**I-5-2-1.Principe de la méthode de Gauss Seidel:**

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

Il faut changer cette formule par  $X=g(x)$  ,pour une fonction  $f(x) = 0$  , 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

$X_0$   $X_1 = g(X_0)$   $X_2 = g(X_1)$  .....  $x_{k+1} = g(x_k)$  où  $k$  est le numéro d'itération  
de Convergence :  $|x_{k+1} - x_k| < \xi$

Pour un système de  $n$  équations :

Soit à résoudre le système d'équations d'ordre  $n$  suivant :

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

Pour trouver l'algorithme de Gauss-Seidel on a besoin de reformer la fonction  $f(x)=0$  à la forme itérative  $X=g(x)$   $x_1 = g(x_0)$   $x_2 = g(x_1)$  .....  $X_n = g(X_{n-1})$

A la fin de chaque itération, on fait le test de convergence :  $|x_{k+1} - x_k| < \xi$  ;  $\xi$ : tolérance choisie.

**I-5-2-2.Application à la solution des équations de l'EP:**

$$S_i = P_i - jQ_i = \dot{V}_i \cdot \sum_{k=1}^n Y_{ik} \cdot V_k \tag{Equ I. 49}$$

Alors :

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[ \frac{P_i - jQ_i}{\dot{V}_i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik} \cdot V_k \right] \tag{Equ I. 50}$$

**Donc :**

$$V^{p+1}_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[ \frac{P_i - jQ_i}{V^p_i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik} \cdot V^p_k \right] \quad (\text{Equ I. 50})$$

**I-5-2-3. Algorithme de GAUSS:**

On procède comme suit:

1. Choisir une valeur initiale  $V^0_i = 1 \angle 0^\circ$  pu, pour tous les jeux de barre sauf le jeu de barre de référence.
2. Utiliser  $V^{(0)}_i$  pour calculer  $V^{(1)}_i$  en utilisant l'équation (Equ I.50)
3. Utiliser  $V^{(1)}_i$  pour calculer  $V^{(2)}_i$  en utilisant l'équation (Equ I.50)
4. On répète le procédé jusqu'à ce que  $|V^{(p+1)}_i - V^{(p)}_i| \leq \epsilon$ , où  $\epsilon$  est la tolérance (précision de calcul). [6]

**I-5-3. Alors on peut formuler la remarque suivante :**

- \* la méthode de Gauss- Seidel a le taux de convergence le plus lent.
- \* le nombre d'itération dépend du volume du réseau.
- \* Si le réseau est petit, le nombre d'itération l'est aussi et ce dernier augmente avec l'agrandissement du réseau.
- \* A cause de la convergence quadratique de la méthode de Newton-Raphson, une solution de haute précision peut être obtenue en quelques itérations seulement. [6]

**I-6. Les systèmes FACTS :**

**I-6-1. Définition :**

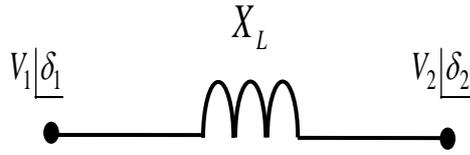
les système des dispositifs de FACTS( Flexible Alternative Courent Transmission System) sont employés pour le contrôlé dynamique de tension, impédance et angle de phase de tension afin à améliorer le comportement dynamique des réseaux ainsi que la répartition et l'écoulement des puissance dans les réseaux. [8]

**I-6-2. Concept de FACT :**

Le concept **FACTS** regroupe tous les dispositifs à base d'électronique de puissance qui permettent d'améliorer l'exploitation du réseau électrique.

La technologie de ces systèmes interrupteurs statiques leur assure une vitesse et une fiabilité supérieure à celle des systèmes classiques. L'intérêt de ces systèmes est non seulement de pouvoir contrôler l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques mais aussi d'augmenter la capacité effective de transport jusqu'à leur limite thermique maximale tout en maintenant, voire en améliorant la stabilité des réseaux. [8]

L'exemple qui suit illustre le transport de puissance sur une ligne à courant alternatif, suppose modélisée par une réactance  $X_L$  [7]



La puissance qui transite dans cette ligne est donnée en fonction des tension aux extrémités de la ligne  $E_1$  et  $E_2$  du déphasage entre celle tensions  $\delta_{12}$  et l'impédance de la ligne  $X_L$ .

$$P_{12} = \frac{V_1 V_2}{X_L} \sin \delta_{12} \dots \dots \dots \text{(Equ I.51)}$$

La puissance active est donnée par l'expression suivent:

$$Q_{12} = \frac{V_1^2}{X_L} - \frac{V_1 V_2}{X_L} \cos \delta_{12} \dots \dots \dots \text{(Equ I.52)}$$

**I-6-3. Principes de fonctionnement des FACTS :**

Nous nous intéresserons qu'aux principaux dispositifs FACTS cités plus haut. Ces derniers sont des compensateurs shunt. Série et des. Pour cela prendrons L'exemple d'une ligne de transport dans laquelle sont insérés des dispositifs [8]

**I-6-4. Les types des dispositifs FACTS :**

Les systèmes FACTS peuvent être classés en trois catégories selon leur mode de connexion au réseau:

**I-6-4-1. Compensateurs parallèles :**

Vers la fin des années 60 plusieurs équipements utilisant l'électronique de puissance ont fait leurs apparitions. Ces derniers avaient l'avantage d'éliminer les parties mécaniques et d'avoir un temps de réponse très court. Ces équipements étaient constitués essentiellement d'une inductance en série avec un gradateur. Le retard à l'amorçage des thyristors permettait de régler l'énergie réactive absorbée par le dispositif. [9] [10]

Cette injection de courant modifie les puissances actives et réactive qui transitent dans la ligne.

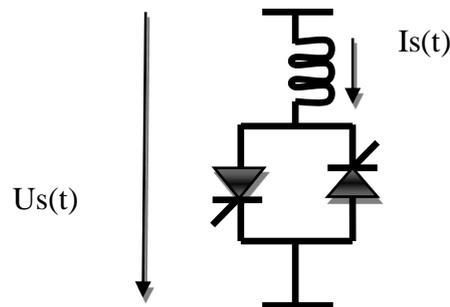
Les compensateurs parallèles les plus utilisés sont :

**I-6-4-1-1. Compensateurs parallèles à base de thyristors**

Il s'agit de :

- TCR (Thyristor Controller Reactor )

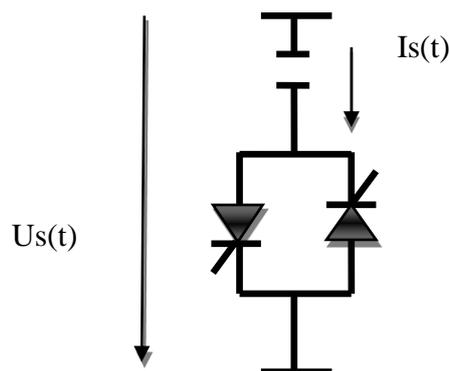
Dans le TCR (ou RCT : Réactances Commandées par Thyristors), la valeur de l'inductance est continuellement changée par l'amorçage des thyristors. [9]



**Fig I-6:** Schéma d'une réactance commandée par thyristor (TCR)

- TSC (Thyristor Switched Capacitor)

Dans le TSC (ou CCT : Condensateurs Commandés par Thyristor), les thyristors fonctionnent en pleine conduction. [9]



**Fig I-7 :** Schéma d'un condensateur commandé par thyristor (TSC)

- SVC (Static Var Compensator)

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 (compensateur statique d'énergie réactive) dont le premier exemple a été installé en 1979 en Afrique du Sud.

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

- une zone où seules les capacités sont connectées au réseau, [11]
- une zone de réglage où l'énergie réactive est une combinaison des TCR et des TSC, [11]

- une zone où le TCR donne son énergie maximale (butée de réglage). les condensateurs sont déconnectés. [11]

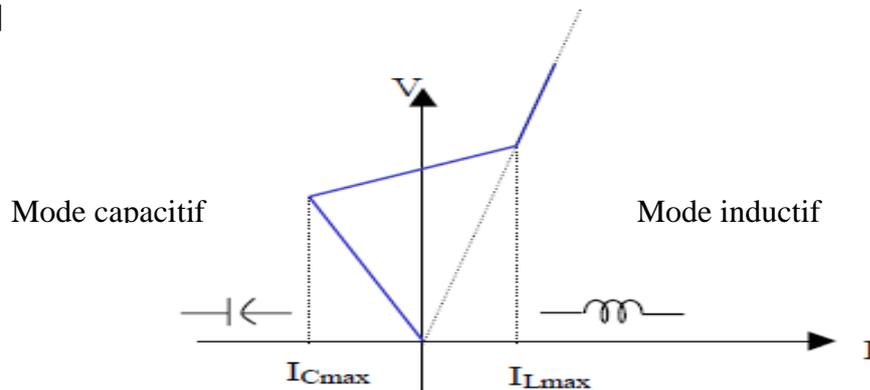


Fig I-8 : Caractéristique (tension-courant) d'un SVC

Tous sont utilisés pour contrôler la tension (la puissance réactive).

**SVC real:**

Fiche technique

3-phase valve  
1 module per phase  
200 MVar valve  
TCR and TSC

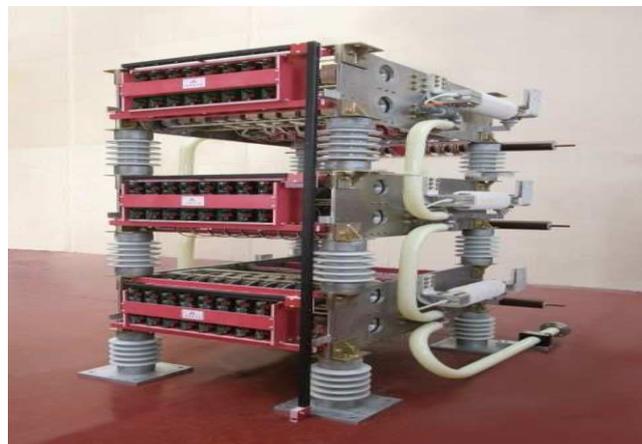


Fig I-9 : Schéma technique d'un SVC [12]

**Quelques références de SVC**

Fiche technique

- Customer - National Grid Transco
- Utility SVC
- Local network voltage support
- 400kV substation
- Connected to 13kV transformer tertiary winding
- 75/+150MVar SVC
- NGT, Lovedean,UK



Fig I-10 : Schéma d'une sous station HT contenant un Compensateur SVC [12]

\*TCBR (Thyristor Control Breaking Resistor)

Ce type de compensateur connecté en parallèle est utilisé pour améliorer la stabilité du réseau pendant la présence des perturbations. [11]

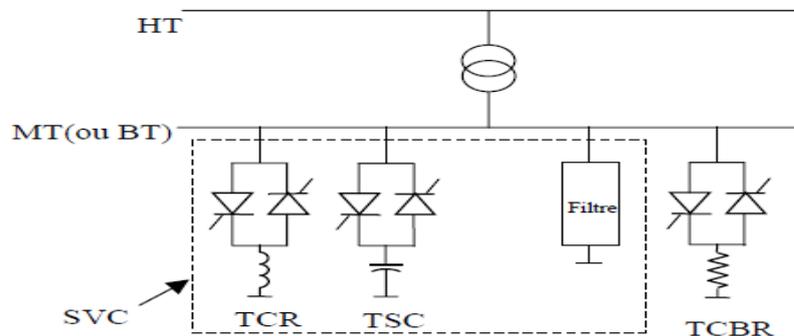


Fig I-11 : Schéma du SVC et TCBR

#### I-6-4-1-2. Compensateurs parallèles à base de GTO thyristors

Il s'agit du STATCOM (STATIC COMPensator) qui a connu jusqu'à présent différentes appellations:

- ASVC (Advanced Static Var Compensator)
- STATCON (STATIC CONDenser)
- SVG (Static Var Generator)
- SVC light
- SVC plus

Le principe de ce type de compensateur est connu depuis la fin des années 70 mais ce n'est que dans les années 90 que ce type de compensateur a connu un essor important grâce aux développements des interrupteurs GTO de forte puissance.

Le STATCOM présente plusieurs avantages :

- bonne réponse à faible tension : le STATCOM est capable de fournir son courant nominal, même lorsque la tension est presque nulle.
- bonne réponse dynamique : Le système répond instantanément.

Cependant le STATCOM de base engendre de nombreux harmoniques. Il faut donc utiliser, pour résoudre ce problème, des compensateurs multi-niveaux à commande MLI ou encore installer des filtres.

La figure ci-dessous. Représente le schéma de base d'un STATCOM. Les cellules de commutation sont bidirectionnelles, formées de GTO et de diode en antiparallèle. Le rôle du STATCOM est d'échanger de l'énergie réactive avec le réseau. Pour ce faire, l'onduleur est couplé au réseau par l'intermédiaire d'une inductance, qui est en général l'inductance de fuite du transformateur de couplage.

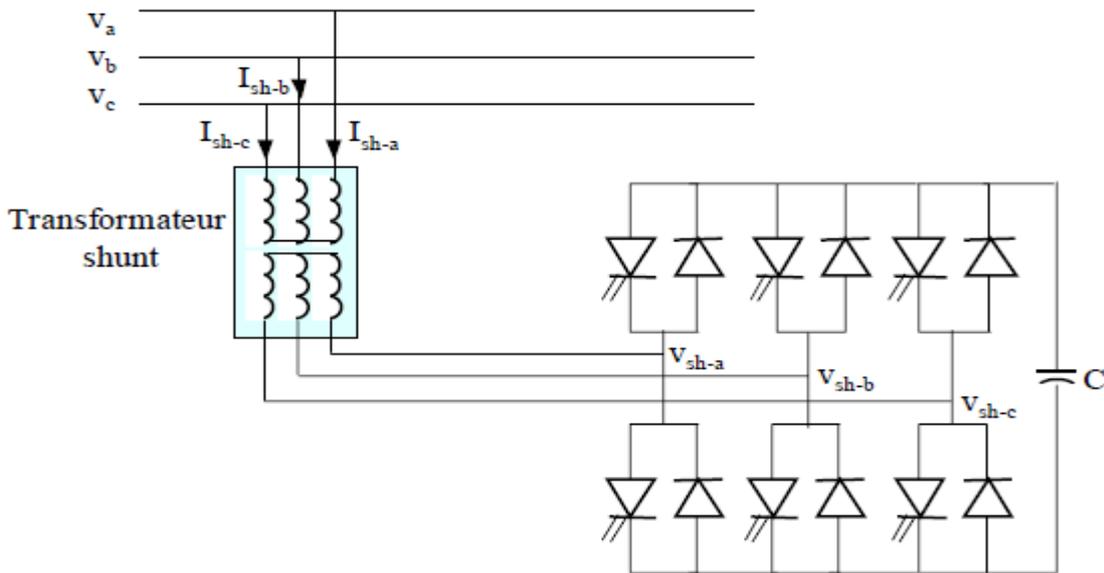


Fig I-12: Schéma de base du STATCOM [11]

**I-6-4-2. Compensateurs séries:**

Ces systèmes de contrôle sont réalisés par l'insertion en série dans une liaison d'une impédance ou d'une source variable. Le principe d'action d'un contrôleur série se réduit toujours à l'injection d'une tension en série dans la liaison, puisque le produit de l'impédance insérée multipliée par le courant représente bien l'injection d'une tension. Tout contrôleur série sera donc du point de vue fonctionnel modélisé par une source de tension. Si cette tension est en quadrature avec le courant, le contrôleur doit fournir ou absorber que la puissance réactive. Si ce n'est pas le cas, le contrôleur met aussi en jeu de la puissance active.

Les compensateurs séries les plus utilisées sont :

**I-6-4-2-1. Compensateurs séries à base de thyristor**

Les plus connus sont :

\*TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)

Le TCSC (Compensateur Série Contrôlé par Thyristors) est composé d'une inductance en série avec un gradateur à thyristors. [11] [13]

Les tout en parallèle avec un condensateur (Figure.I.13).

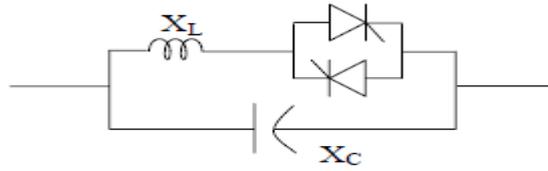


Fig I-13 : Structure du TCSC

\*TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor)

La différence entre ce système et le TCSC est que l'angle d'amorçage est soit de 90 degrés soit de 180 degrés. [14]

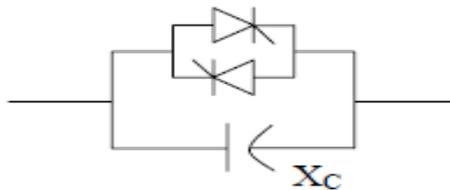


Fig I-14 : structure du TSSC

\*TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor)

TCSR est un compensateur inductif qui se compose d'une inductance en parallèle avec une autre inductance commandée par thyristor afin de fournir une réactance inductive série variable.

Lorsque l'angle d'amorçage du réacteur commandé par thyristor est de 180 degrés, il cesse de conduire, et la réactance non contrôlable  $X_1$  agit comme un limiteur de courant de défaut.

Pendant que l'angle d'amorçage diminue en dessous de 180 degrés, la réactance équivalente diminue jusqu'à l'angle de 90 degrés, où elle est la combinaison parallèle de deux réactances.[14]

\*TSSR (Thyristor Switched Series Reactor)

La différence entre ce système et le TCSR est que l'angle d'amorçage peut être soit de 90 degrés soit de 180 degrés. [14]

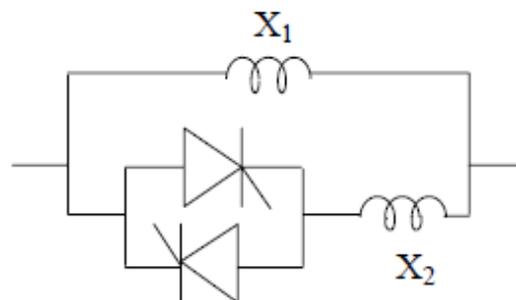


Fig I-15 : Structure du TCSR

**I-6-4-2-2. Compensateurs séries à base de GTO thyristors**

\*SSSC (Static synchronous series compensator) :Ce type de compensateur série (Compensateur Synchrone Statique Série) est le plus important dispositif de cette famille. Il est constitué d'un onduleur triphasé couplé en série avec la ligne électrique à l'aide d'un transformateur. [14]

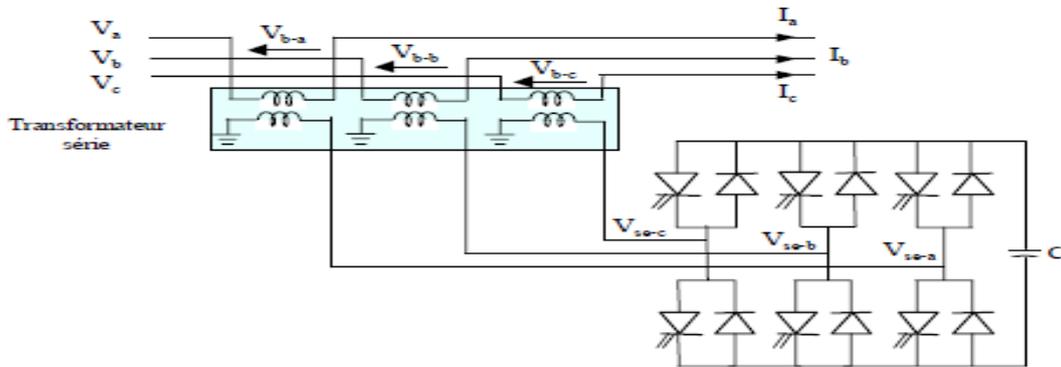


Fig I-16 : schéma de base du SSSC

**I-6-4-3. Compensateurs série- parallèle :**

**I-6-4-3-1. Compensateurs hybrides à base de thyristors :**

\*TCPAR (Thyristor Controlled Phase Angle Regulator):

TCPAR (déphaseur statique) est un transformateur déphaseur à base de thyristors. Ce dispositif a été créé pour remplacer les déphaseurs à transformateurs à régler en charge (LTC : Load Tap Changer) qui sont commandés mécaniquement. Il est constitué de deux transformateurs, l'un est branché en série avec la ligne et l'autre en parallèle. [14]

Il a l'avantage de ne pas générer d'harmoniques car les thyristors sont commandés en interrupteurs en pleine conduction. Par contre comme le déphasage n'a pas une variation continue, il est nécessaire d'y adjoindre un compensateur shunt, ce qui entraîne des surcoûts d'installation [15]

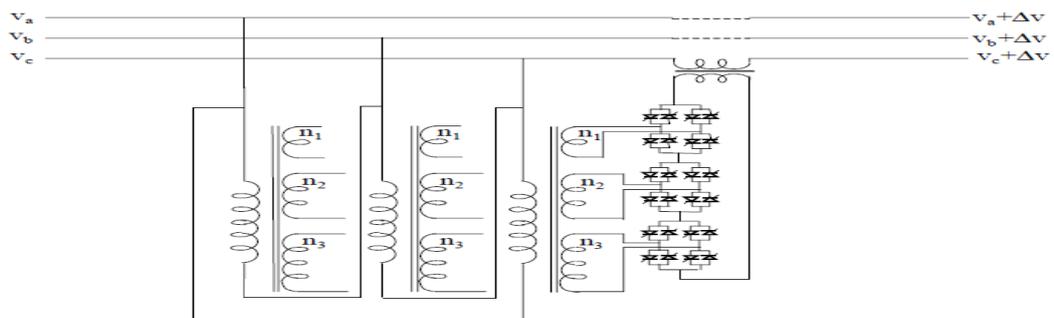


Fig I-17 : Schéma du TCPAR

**I-6-4-3-2. Compensateurs hybrides à base de GTO thyristors :**

\*IPFC (Interline Power Flow Controller):

L'IPFC a été proposé par Gyugyi, Sen et Schuder en 1998 afin de compenser un certain nombre de lignes de transmission d'une sous-station. Sous sa forme générale, l'IPFC utilise des convertisseurs DC-DC (Direct Current) placés en série avec la ligne à compenser. [16]

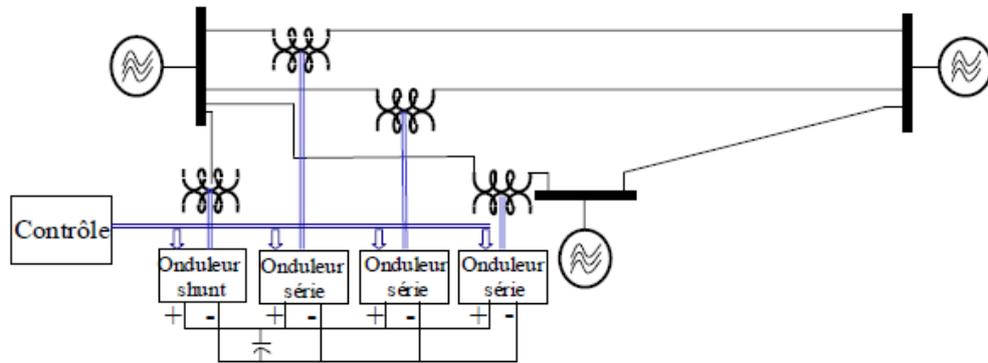


Fig I-18: Schéma de base de l'IPFC

Nous pouvons l'utiliser afin de conduire des changements de puissances entre les lignes.

\*UPFC (Unified Power Flow Controller)

présenté le concept de l'UPFC en 1990. L'originalité de ce compensateur est de pouvoir contrôler les trois paramètres associés au transit de puissance dans une ligne électrique :

- \*la tension,
- \*l'impédance de la ligne,
- \*le déphasage des tensions aux extrémités de la ligne.

En effet, l'UPFC permet à la fois le contrôle de la puissance active et celui de la tension de ligne (la Figure ci-dessous).

En principe, l'UPFC est capable d'accomplir les fonctions des autres dispositifs FACTS à savoir le réglage de la tension, la répartition de flux d'énergie, l'amélioration de la stabilité et l'atténuation des oscillations de puissance. [14]

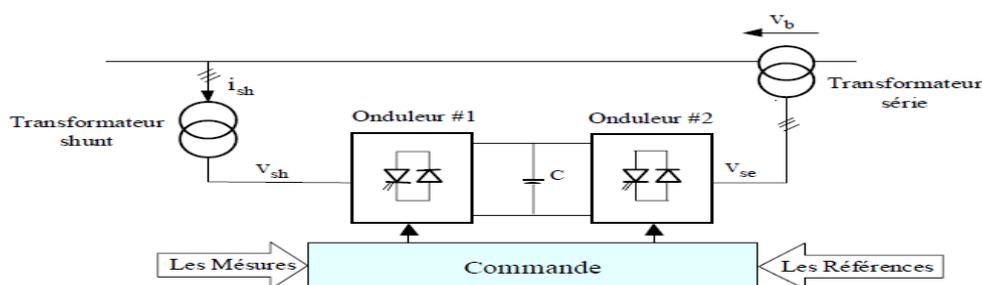


Fig I-19 : Schéma de base de l'UPFC

**I-6-5. Etat de la technologie et expériences :**

Les contrôleurs électroniques de puissance constituent le fondement du concept des appareillages de réseaux CA (courant alternatif) maillés (FACTS) qui sont en cours de développement depuis près de vingt ans et qui en sont à la troisième génération. La première génération de dispositifs FACTS utilisait l'électronique de puissance pour le contrôle de grands éléments de circuit de transmission, comme les batteries de condensateurs, pour qu'elles soient plus réactives aux changements de conditions de fonctionnement du réseau.

La seconde génération de dispositifs FACTS était en mesure de remplir leurs fonctions, comme soutenir la tension d'une longue ligne de transport, sans recours à de grands éléments de circuits externes et onéreux. Les dispositifs FACTS de première et de seconde génération sont actuellement en service dans les réseaux de distribution. [16]

**I-6-6. Les avantages de la technologie des dispositifs FACTS :**

- 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.

**I-7. Conclusion :**

Etude de l'écoulement de puissance s'occupe, non seulement des mécanismes physiques actuels qui contrôlent l'écoulement de la puissance dans les mailles des réseaux électriques, mais aussi de la meilleure sélection de la configuration de l'écoulement parmi l'ensemble des configurations possibles.

Pratiquement, les méthodes de résolution de L'écoulement de puissance détaillées ci-dessus montrent des grandes différences entre la méthode de Newton-Raphson et Gauss-Seidel. En effet, bien que cette dernière affiche le temps le plus court par itération, le nombre d'itérations nécessaires à la convergence est nettement plus important.

De plus, le nombre d'itérations croît pour la méthode de Gauss-Seidel avec le nombre de nœuds du réseau alors que ce nombre est pratiquement indépendant du réseau pour Newton-Raphson. Ceci est principalement dû à la manière d'évaluation de la méthode de Newton-Raphson qui prend en compte toutes les interactions en même temps, la convergence est alors quadratique.

# Chapitre n°11

*Le réseaux électriques algérien de  
transport*

**II-1.Introduction**

Dans ce chapitre, nous présentons les informations principaux de réseaux électriques algérien de transport et celui-ci donnons les informations de chaque centrale pour observe la quantité de production d'énergie électrique et aussi présentons la consommations (charges) d'énergie électrique .

**II-2. Structure générale du réseau électrique algérien**

Le réseau électrique algérien contient 114 JB et 175 lignes de liaison entre ces JB avec 15 centrales de génération , 16 transformateurs et 91 charges , ce réseau divise en six régions numérotées en suite de 1 jusqu'à 6 et représentées comme suit :

<b>Tableau II-1 : les codes Régions</b>						
<b>Les régions</b>	ORAN	ALGER	SETIF	ANNABA	DJELFA	OURGLA
Codes	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

Les niveaux de tension dans ce réseau sont entre 220 Kv et 60 Kv et présentés dans le tableau suivant :

<b>Tableau II-2:Codes des niveaux de tension dans le RE algérien</b>	
<b>Tensions (kV)</b>	<b>Code de niveau de tension</b>
<b>60</b>	3
<b>90</b>	4
<b>150</b>	5
<b>220</b>	6

\*ce tableau présenté les niveau de tension de transport dans l'Algérie\*

II-3. carte de réseau électrique algérien de transport

Cette carte origine par SONALGAZ dans l'année 2007.[17].

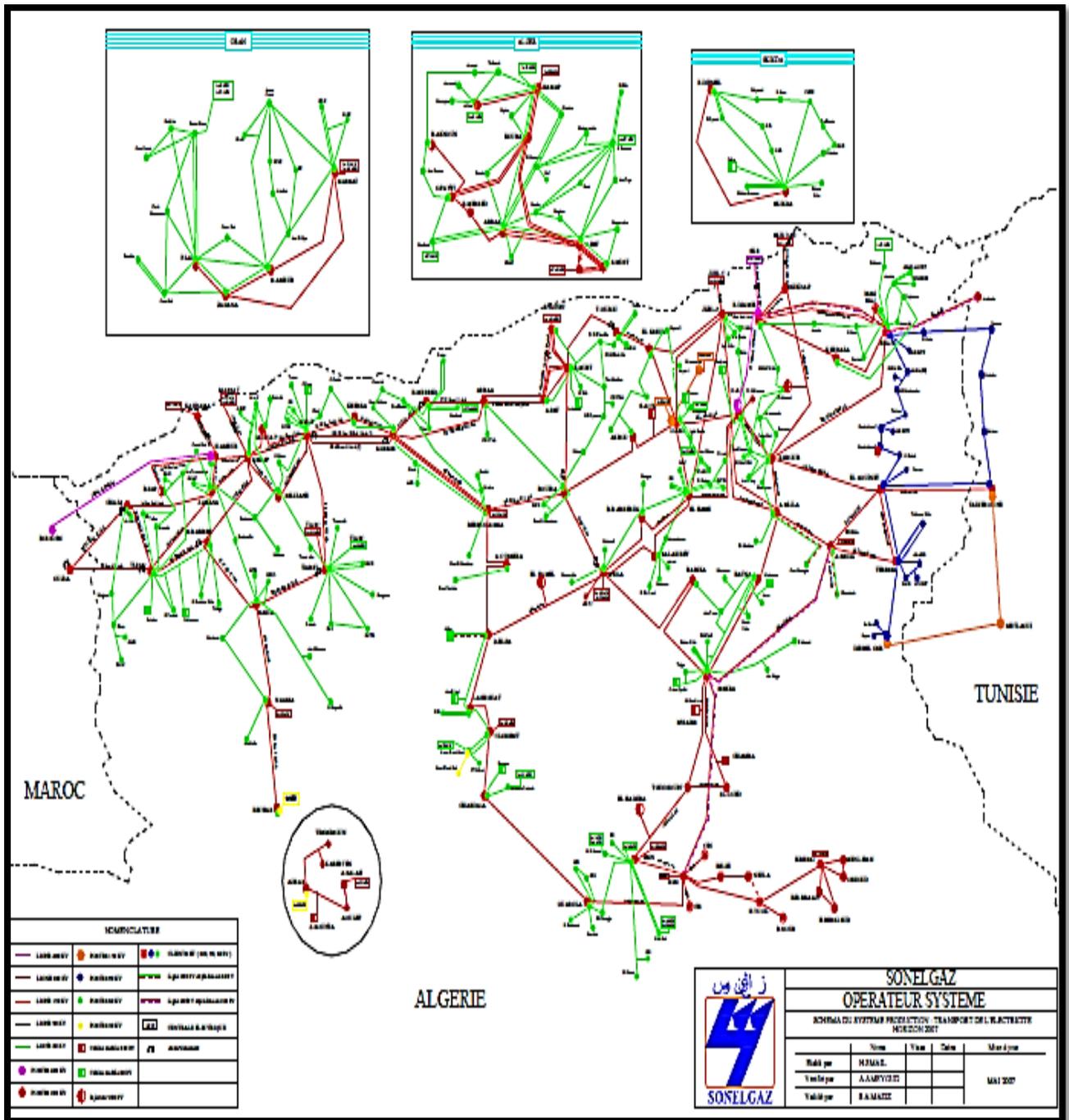


Fig II-1 : représente la carte de réseau électrique algérien de transport

- Cette carte représente la situation de centrale de production et les ligne de transport d'énergie électrique dans l'Algérie.

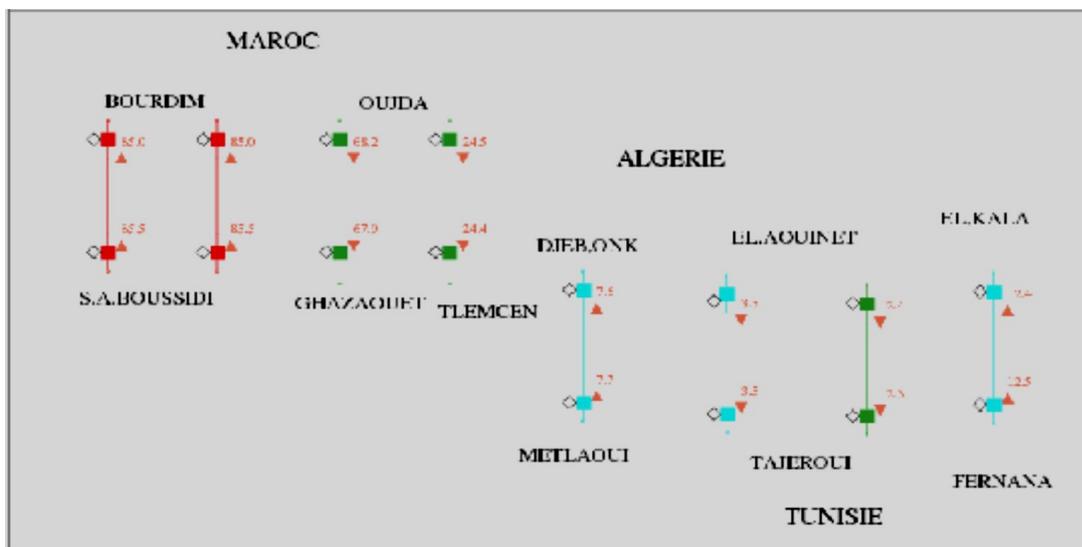
Le tableaux suivant représente quelque explication de la carte de réseau électrique algérien.

**Tableau II-3:** représenté les informations principales de réseau électrique algérien. [17].

NOMENCLATURE		
LIGNE 400 KV	POSTES 150 KV	CLIENTS HT ( 220, 90, 60 kv )
LIGNE 220 KV	POSTES 90 KV	Ligne 220 kV exploitée en 60 kV
LIGNE 150 KV	POSTES 60 KV	Ligne 400kV exploitée en 220 kV
LIGNE 90 KV	POSTES 30 KV	CENTRALE ELECTRIQUE
LIGNE 60 KV	Cabine mobile 220 kV	Asservissement
POSTES 400 KV	Cabine mobile 60 kV	
POSTES 220 KV	Injecteur 220 kV	

Nous observons dans le tableau les différentes lignes ( 400 KV,220 KV ,etc.) et remarque aussi les centrales électrique ,les postes et enfin nous remarque que le réseau algérien de transport plus expliqué à partir de ce tableau.

A partir cette carte nous remarquons aussi les lignes d’interconnexion entre l’Algérie-Tunisie et entre l’Algérie et Maroc.[17]



**Fig II-2 :** Les transits sur les lignes d’interconnexion Algérie-Maroc et Algérie-Tunisie

II-4. Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie.

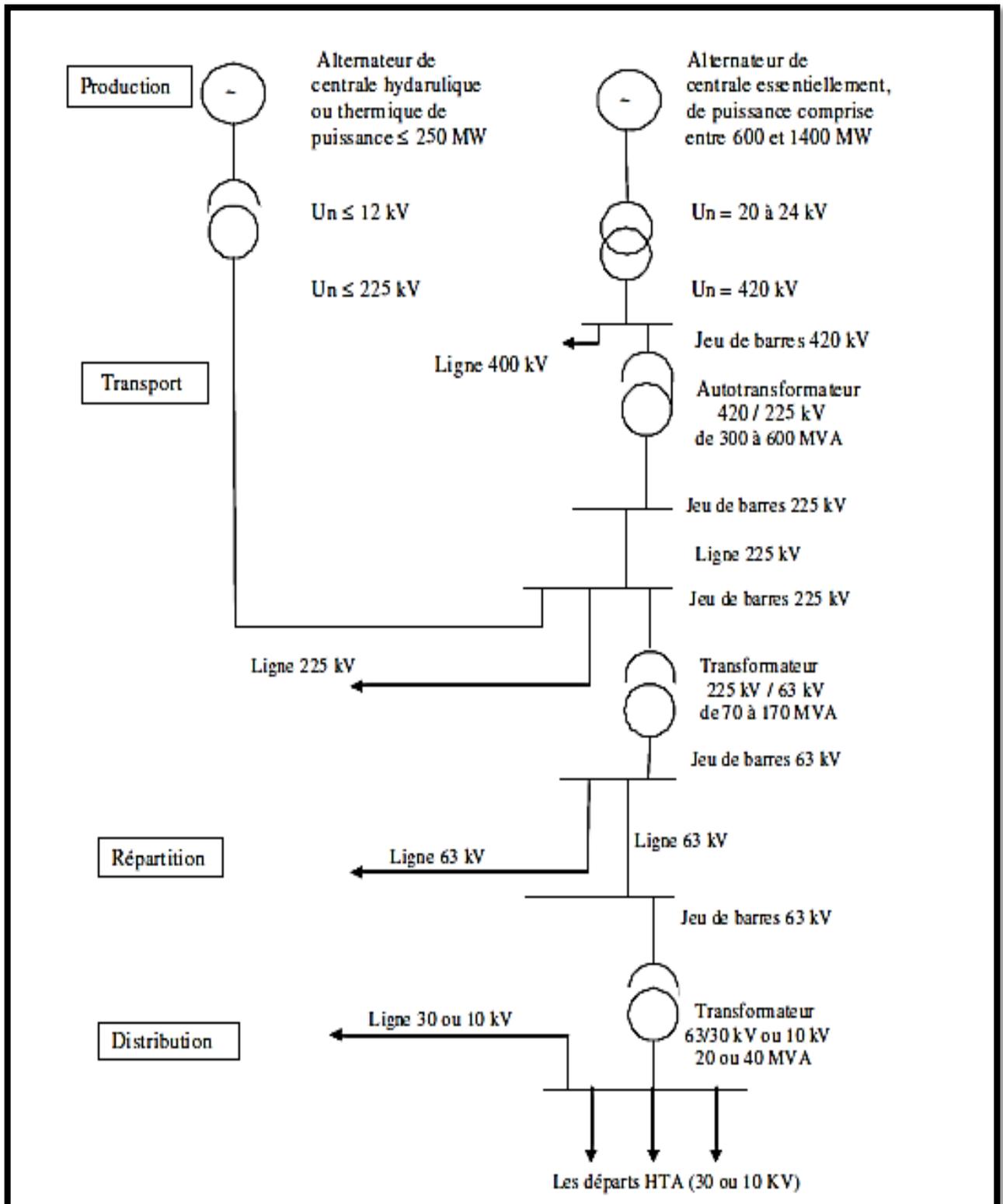


Fig.II-3 : Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie [18].

II-5. Gamme des tensions utilisées par le groupe SONELGAZ

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension Alternative comme suit [18]:

Tableau II-4 : Tableau des domaines de tension

Domaines de Tension		Valeur de la tension composée nominale ( $U_n$ en Volts)
		Tension Alternatif
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$
Basse Tension (BT)	BTB	$50 < U_n \leq 500$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$
Haute Tension (HT)	HTA ou MT	$1000 < U_n \leq 50\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$

-la figure ci-dessous représente la consommation régionale d'énergie en (MW) dans 18/12/2006.

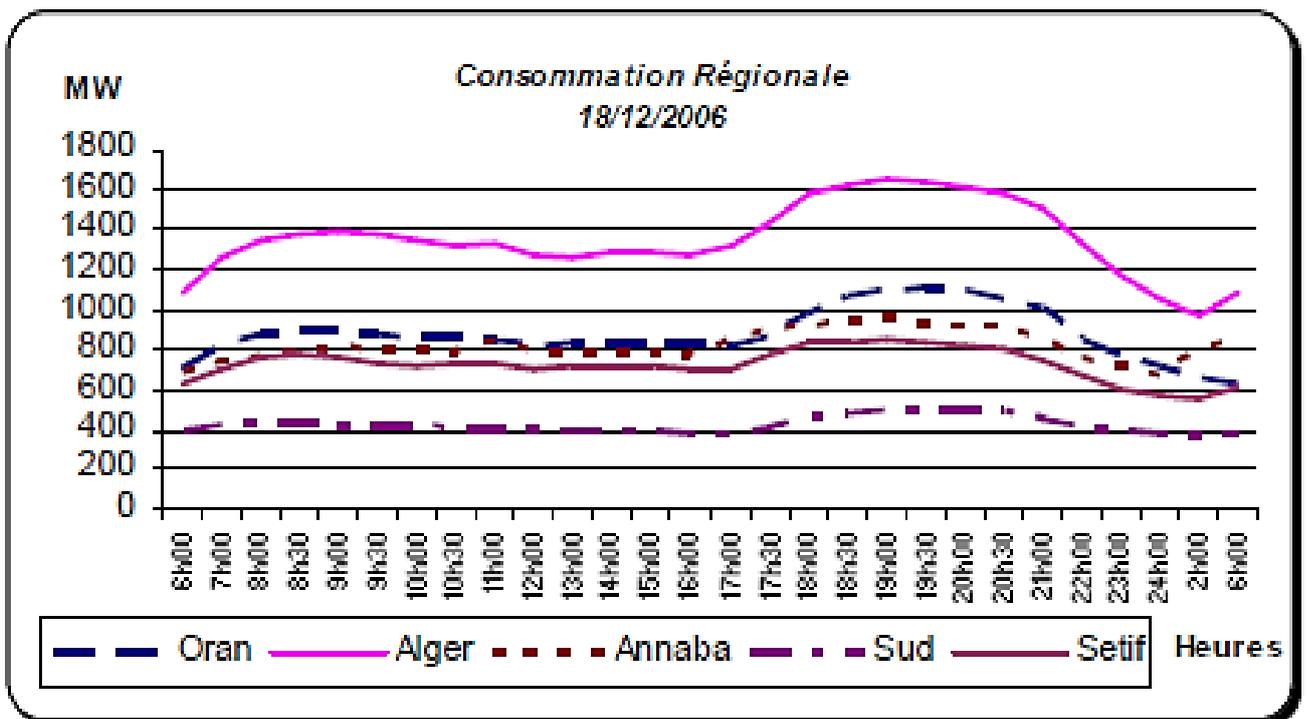


Fig. II-4: Consommation régionale 18/12/2006.[19]

II -6 .les données de réseaux électriques algérien de transport 114 jeux de barre :

Les tableaux suivants présenter les informations principaux pour l'étude de réseau algérien.

II -6-1 .les données des jeux de barre :

Tableau II-5: Bus-data du réseau Algérien									
Nom de JB	Numéro de JB	Voltage de JB	Angle De JB	charge		Générateur			
	Unité	p.u	Degrée	$P_d$ MW	$Q_d$ MVAR	$P_g$ MW	$Q_g$ MVAR	$Q_{min}$ MVAR	$Q_{max}$ 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
k2HAMM16	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

-Ce tableau contient à les information des jeux de barre pour simplifie quelque étude au avenir

-Ces informations sont plus obligatoires pour l'étude de réseau électrique algérien de transport

II -6-2-les données de les lignes :

Tableau II-6: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	MVA
1	1	2	0.0085	0.0403	0	250
2	1	6	0.0122	0.0578	0	250
3	6	2	0.0140	0.0498	0	200
4	42	4	0.0274	0.1295	0	250
5	42	4	0.0139	0.0122	0	450
6	3	4	0.0033	0.0158	0	500
7	3	5	0.0028	0.0189	0	450
8	4	5	0.0018	0.0126	0	450
9	7	4	0.0144	0.0678	0	250
10	16	15	0.0038	0.0135	0	200
11	3	16	0.0041	0.0144	0	200
12	14	16	0.0013	0.0045	0	200
13	42	8	0.0171	0.0629	0	200
14	4	8	0.0184	0.0870	0	250
15	7	10	0.0150	0.0709	0	250
16	11	10	0.0228	0.1076	0	250
17	6	7	0.0157	0.0740	0	250
18	42	11	0.0170	0.0806	0	250
19	3	6	0.0288	0.1012	0	200
20	2	9	0.0042	0.0284	0	450
21	3	9	0.0088	0.0600	0	450
22	12	13	0.0501	0.2365	0	250
23	13	10	0.0464	0.2190	0	250
24	21	17	0.0065	0.0244	0	200
25	21	17	0.0073	0.0278	0	200
26	72	17	0.0197	0.0732	0	200
27	27	17	0.0046	0.0237	0	300
28	31	17	0.0061	0.0311	0	350
29	28	31	0.0017	0.0088	0	300
30	64	17	0.0198	0.0727	0	200
31	44	21	0.0240	0.0861	0	200
32	31	60	0.0037	0.0253	0	450
33	60	21	0.0056	0.0263	0	250
34	44	60	0.0122	0.0578	0	250
35	44	58	0.0121	0.0569	0	250
36	101	72	0.0213	0.1007	0	250
37	58	72	0.0183	0.0863	0	250

38	75	58	0.0148	0.0701	0	250
39	107	75	0.0185	0.0876	0	250
40	74	75	0.0006	0.0026	0	250
41	42	44	0.0248	0.0903	0	200
42	42	44	0.0183	0.0864	0	250
43	48	42	0.0074	0.0506	0	450
44	44	48	0.0025	0.0158	0	450
45	101	107	0.0334	0.1577	0	250
46	97	64	0.0178	0.0654	0	200
47	96	72	0.0152	0.0540	0	200
48	98	96	0.0203	0.0720	0	200
49	95	96	0.0015	0.0070	0	200
50	22	18	0.0022	0.0104	0	80
51	37	18	0.0019	0.0092	0	80
52	22	37	0.0013	0.0061	0	80
53	26	19	0.0004	0.0006	0	60
54	26	19	0.0004	0.0006	0	60
55	34	19	0.0001	0.0009	0	80
56	18	20	0.0100	0.0219	0	50
57	24	20	0.0028	0.0103	0	40
58	24	20	0.0027	0.0101	0	40
59	29	20	0.0024	0.0088	0	40
60	35	20	0.0032	0.0114	0	40
61	29	35	0.0034	0.0122	0	40
62	32	20	0.0053	0.0176	0	60
63	32	22	0.0025	0.0085	0	60
64	24	22	0.0018	0.0059	0	60
65	24	22	0.0018	0.0059	0	60
66	31	23	0.0018	0.0059	0	60
67	36	23	0.0010	0.0034	0	60
68	31	36	0.0020	0.0068	0	60
69	18	33	0.0015	0.0051	0	60
70	33	32	0.0018	0.0059	0	60
71	25	26	0.0010	0.0038	0	30
72	25	24	0.0012	0.0045	0	60
73	34	26	0.0004	0.0024	0	60
74	26	29	0.0009	0.0012	0	60
75	39	29	0.0009	0.0061	0	80
76	34	38	0.0003	0.0023	0	80
77	73	18	0.0116	0.0255	0	50
78	73	18	0.0064	0.0225	0	60
79	18	62	0.0038	0.0144	0	60
80	52	20	0.0065	0.0161	0	50
81	52	20	0.0065	0.0161	0	50
82	59	54	0.0088	0.0228	0	50

83	59	52	0.0027	0.0075	0	50
84	51	57	0.0091	0.0305	0	60
85	77	57	0.0102	0.0340	0	60
86	53	52	0.0070	0.0133	0	35
87	54	53	0.0070	0.0133	0	35
88	31	52	0.0054	0.0133	0	50
89	70	71	0.0119	0.0234	0	35
90	41	40	0.0044	0.0121	0	50
91	50	40	0.0100	0.0271	0	35
92	41	71	0.0081	0.0272	0	60
93	68	70	0.0090	0.0162	0	35
94	46	43	0.0076	0.0255	0	60
95	43	51	0.0154	0.0265	0	35
96	55	54	0.0089	0.0297	0	60
97	43	55	0.0127	0.0425	0	60
98	62	73	0.0030	0.0102	0	60
99	67	73	0.0249	0.0521	0	40
100	67	68	0.0123	0.0265	0	40
101	26	29	0.0009	0.0012	0	60
102	66	73	0.0121	0.0428	0	60
103	66	63	0.0051	0.0170	0	60
104	65	63	0.0041	0.0138	0	60
105	65	63	0.0041	0.0138	0	60
106	54	56	0.0076	0.0255	0	60
107	56	57	0.0089	0.0297	0	60
108	56	57	0.0089	0.0297	0	60
109	50	47	0.0089	0.0297	0	60
110	46	47	0.0025	0.0085	0	60
111	66	67	0.0084	0.0208	0	50
112	41	49	0.0094	0.0314	0	50
113	78	19	0.0003	0.0004	0	60
114	79	19	0.0008	0.0010	0	60
115	61	59	0.0038	0.0135	0	60
116	46	45	0.0013	0.0045	0	60
117	87	85	0.0158	0.0745	0	250
118	86	85	0.0139	0.0657	0	250
119	81	85	0.0099	0.0467	0	250
120	106	87	0.0105	0.0495	0	250
121	82	87	0.0056	0.0266	0	250
122	99	87	0.0322	0.1249	0	200
123	105	103	0.0130	0.0613	0	250
124	101	105	0.0171	0.0806	0	250
125	104	105	0.0015	0.0070	0	250
126	106	103	0.0208	0.0983	0	250
127	82	81	0.0303	0.1075	0	200

128	82	80	0.0319	0.1129	0	200
129	84	80	0.0191	0.0676	0	200
130	83	84	0.0051	0.0180	0	200
131	83	82	0.0191	0.0676	0	200
132	98	100	0.0102	0.0598	0	250
133	97	100	0.0111	0.0759	0	450
134	97	98	0.0121	0.0448	0	200
135	100	99	0.0231	0.1089	0	250
136	100	87	0.0102	0.0694	0	450
137	84	100	0.0065	0.0442	0	450
138	80	84	0.0074	0.0506	0	450
139	81	86	0.0055	0.0379	0	450
140	99	98	0.0163	0.0580	0	200
141	102	101	0.0116	0.0547	0	250
142	102	99	0.0116	0.0547	0	250
143	101	90	0.0111	0.0759	0	450
144	94	98	0.0357	0.1275	0	200
145	82	94	0.0056	0.0263	0	250
146	93	92	0.0272	0.0684	0	60
147	91	93	0.0051	0.0180	0	60
148	91	93	0.0063	0.0225	0	60
149	89	90	0.0130	0.0402	0	60
150	89	88	0.0227	0.0686	0	60
151	93	90	0.0310	0.0534	0	60
152	110	103	0.0185	0.0876	0	250
153	112	110	0.0185	0.0876	0	250
154	114	103	0.0419	0.1979	0	250
155	108	109	0.0148	0.0701	0	250
156	107	109	0.0388	0.1833	0	250
157	114	112	0.0190	0.0896	0	250
158	111	112	0.0297	0.1402	0	250
159	111	113	0.0167	0.0787	0	250
160	88	80	0.0123	0.3140	0	400
161	90	81	0.0062	0.1452	0	240
162	93	86	0.0012	0.0742	0	240
163	41	42	0.0012	0.0742	0	240
164	57	58	0.0012	0.0742	0	240
165	43	44	0.0029	0.1053	0	120
166	59	60	0.0014	0.0516	0	360
167	63	64	0.0019	0.0700	0	180
168	71	72	0.0012	0.0742	0	240
169	18	17	0.0014	0.0516	0	360
170	20	21	0.0016	0.0525	0	240
171	26	27	0.0024	0.1484	0	120
172	26	28	0.0024	0.1484	0	120

<b>173</b>	30	31	0.0007	0.0495	0	360
<b>174</b>	47	48	0.0012	0.0742	0	240
<b>175</b>	76	74	0.0089	0.3340	0	40

**Remarque**

Tension de base est :  $U_{\text{base}} = 220 \text{ Kv}$ . ; Puissance de base est :  $S_{\text{base}} = 100 \text{ MVA}$ .

**II-7.conclusion :**

Après l'étude de réseau électrique algérien nous avons présenté la structure topologie aussi la carte et l'architecture du réseaux électriques algérien a la fin on fait présenté les donner plus importants pour l'analyse de réseaux électriques algérien.

# Chapitre n°III

*Résultats et interprétations*

### III-1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons analyser le réseau électrique algérien de transport pour voir leurs influences sur le profil de tension et sur les pertes réactives dans le régime normal. Pour une simulation réussie nous allons utiliser un logiciel simple et bien expliqué comme les outils de simulation ont été utilisés pour l'analyse de réseau électrique tels que (MATLAB, mat power, PSAT,... etc.

Ces logiciels permettent de nous renseigner sur les différents facteurs d'un réseau électrique et à simuler les différents cas pour avoir les paramètres du réseau.

### III-2.Définition de logiciel PSAT

PSAT (*Power System Analysis Toolbox*) est un logiciel destiné à l'analyse et l'étude des réseaux électriques,. Il est développé sous MATLAB par Mr. Federico Milano ; Professeur Docteur à l'université de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, Spain.

PSAT bénéficie largement des remarques et observations des chercheurs spécialisés dans le réseau électrique PSAT est un logiciel, simple, intéressant, qui englobe plusieurs domaines de recherche dans l'étude et l'analyse des réseaux électriques.

La manipulation de PSAT peut être effectuée, soit par l'interface graphique, soit par la programmation en ligne en utilisant leurs fonctions prédéfinies.

Le PSAT inclut L'écoulement de puissance base sur la méthode de NEWTON RAPHSON, L'écoulement de puissance, L'écoulement de puissance optimal.

### III-3.Utilisation logicielle PSAT

PSAT est base sur le concept des structures afin d'enregistrer les paramètres du réseau ainsi que les résultats de simulations.

Chaque structure, englobe plusieurs champs des informations qui assurent une description détaillée du système.

Les étapes d'utilisation de PSAT se résument comme suit :

- Ouvrir un nouveau fichier.
  - Créer du réseau électrique à étudier.
  - Lancer le model de la bibliotheque de simulation.
  - Introduire les données numériques des éléments (générateurs, lignes, transfos, FACTS...)
- Exécuter l'écoulement de puissances.

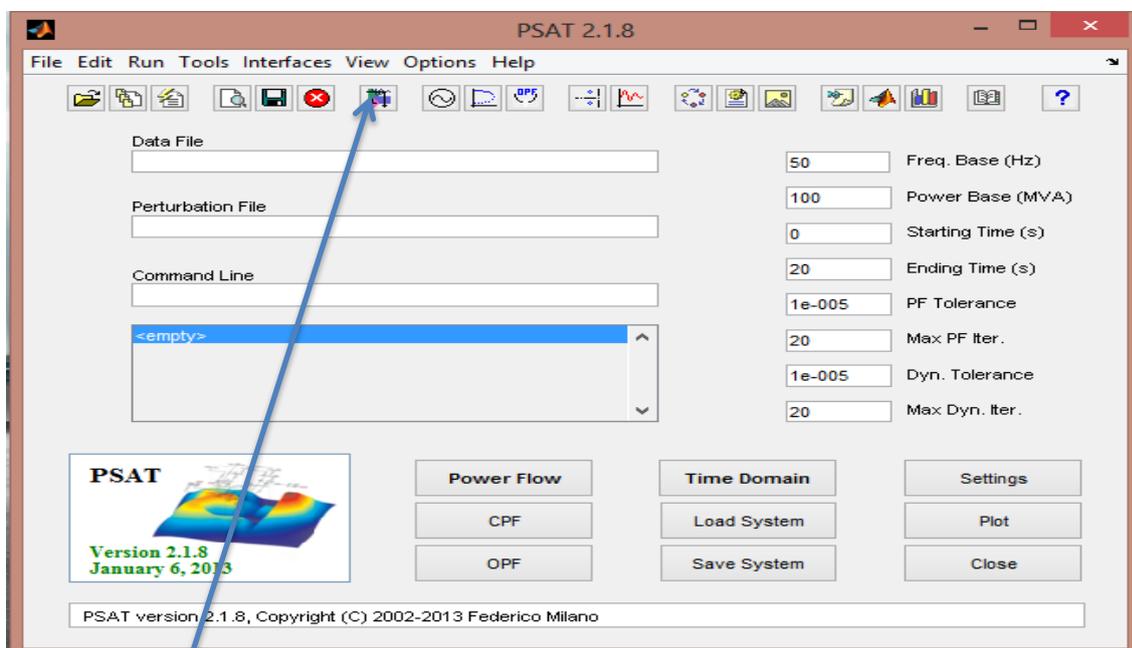
**III-3.Comment ça marche.**

Pour l'utilisation de logiciel PSAT nous allons suivre les étapes suivantes :

- Intégrer le logiciel PSAT dans le programme MATLAB
- On applique le logiciel de (PSAT) dans le programme MATLAB
- Pour ouvrir PSAT nous écrivons PSAT dans la fenêtre de MATLAB comme suite :

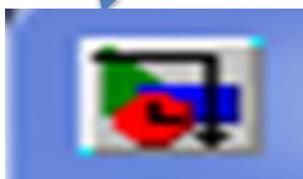
>> psat

- Après l'ouverture de PSAT nous observons le modèle voulu.



**Fig III.1 :** le modèle voulu

- Choisir le thème à partir de la bibliothèque de simuling : pour ouverture la bibliothèque a cliqué sur le symbole ci-dessous.



Le symbole de la bibliothèque de simuling.

En suite cliquer sur ce symbole nous observons la bibliothèque de simuling .

- Choisir le thème à partir de la bibliothèque de similing :

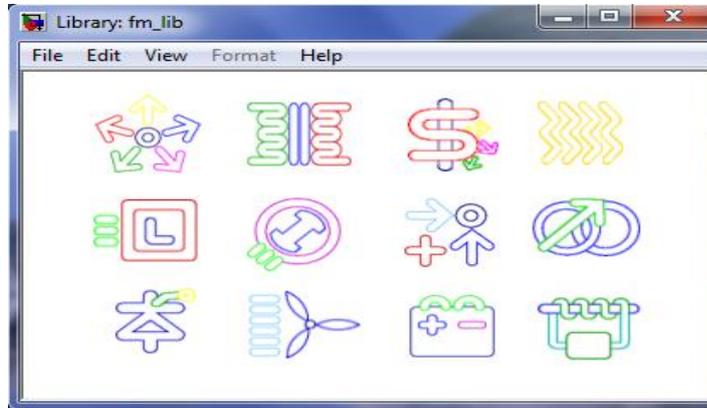
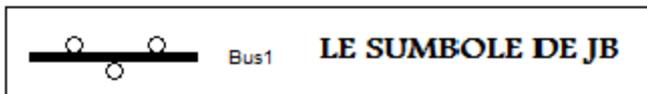


Fig III.2: Bibliothèque du Simulink.

III-4.Méthode de création les donner dans un réseau :

III-4-1. les jeux de barre :



Pour entrer les donner de JB nous allons cliquer sur le JB pour afficher la fenêtre suivante

Block Parameters: Bus1

Bus (mask)  
Bus block.

Parameters

Number of inputs: 2

Number of outputs: 1

Voltage Rating [kV]: 220

Voltage initial guess [p.u. rad]: [1.00 0.00]

Area number: 3

Region number: 1

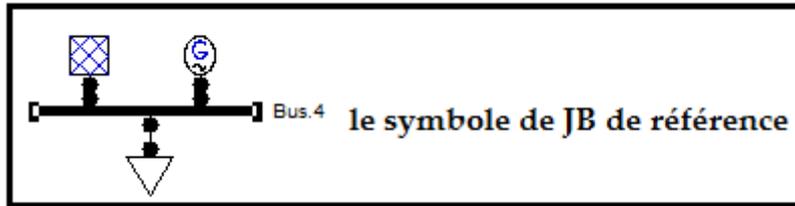
Buttons: OK, Cancel, Help, Apply

Annotations:

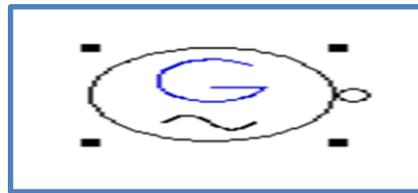
- Numéro des entres (points to 'Number of inputs')
- Numéro des sortis K2 (points to 'Number of outputs')
- La valeur de la tension de ce JB (points to 'Voltage Rating')
- La tension initial et ta phase(p.u.rad) (points to 'Voltage initial guess')
- le numéro de la zone (points to 'Area number')
- le numéro de la région (points to 'Region number')
- enfin cliqué sur Apply puis OK (points to the 'Apply' and 'OK' buttons)

Fig III.3: Block paramètres de JB.

\*le symbole de JB de référence

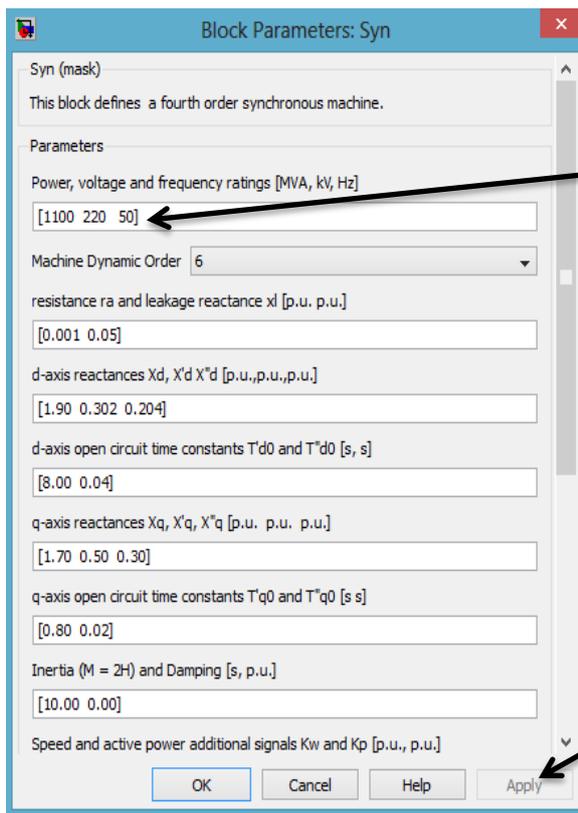


III-4-2.les générateurs : pour entrer les donner de générateur on vas cliquer sur le symbole ci-dessous.



Le symbole de de générateur

La fenêtre de générateur :



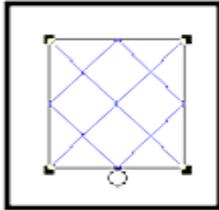
Les donner de la machine (puissance (MVA),la tension (KV) et la fréquence (Hz))

Apply

Fig III.4: Block paramètres de générateur .

- Enfin cliquer sur OK pour sauvegarder les donner qui entre

III-4-3. Le Symbole de JB de référence :



LE SYMBOLE DE SLACK BUS

Pour entrer les valeurs de ce JB nous allons cliquer sur le symbole de slack bus

La fenêtre de symbole de JB de référence :

Les valeurs de la puissance de base (MVA) et de la tension (KV)

La valeur de tension magnétique (p.u)

l'angle de phase (rad)

la valeur maximale et minimale de la puissance réactive (p.u)

la valeur maximale et minimale de la tension (p.u)

la valeur de la puissance active (p.u)

cliquer sur Apply

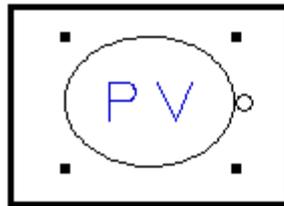
The screenshot shows a dialog box titled "Block Parameters: Slack1" with the following fields and values:

- SW (mask): This block defines a V-theta bus:  $V = V\_des$ ,  $theta = theta\_des$
- Parameters:
  - Power and Voltage Ratings [MVA, kV]: [100 220]
  - Voltage Magnitude [p.u]: 1.00
  - Reference Phase Angle [rad]: 0.00
  - Qmax and Qmin [p.u. p.u.]: [1 0.2]
  - Vmax and Vmin [p.u. p.u.]: [1.1 0.9]
  - Active Power Guess [p.u.]: 4.50
  - Loss Participation Factor: 1
- Reference bus:
- Connected:
- Buttons: OK, Cancel, Help, Apply

Fig III.5: Block paramètres de JB de référence.

- Enfin cliquer sur OK pour sauvegarder les données qui ont été entrées

III-4-4. Le Symbole de JB de contrôle : Pour entrer les valeur de ce JB nous allons cliquer sur le symbole de contrôle.



le symbole de JB de controle

La fenêtre de symbole de JB de contrôle:

Block Parameters: PV

PV (mask) (link)  
This block defines a PV bus for load flow studies:  
P = Pcost.  
V = Vdes.

Parameters

Power and Voltage Ratings [MVA, kV]  
[100 40]

Active Power [p.u.]  
0.8

Voltage Magnitude [p.u.]  
1.00

Qmax and Qmin [p.u. p.u.]  
[0.8 -0.2]

Vmax and Vmin [p.u. p.u.]  
[1.1 0.9]

Loss Participation Factor  
1

Connected

OK Cancel Help Apply

la valeurs de la puissance de base (MVA) et de la tension (KV)

la valeur de la puissance active (p.u)

la valeur de tension magnétique(p.u)

la valeur maximale et minimale de la puissance réactive (p.u)

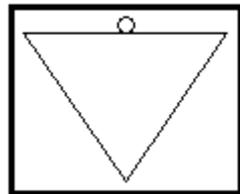
la valeur maximale et minimale de la tension (p.u)

cliquer sur Apply

Fig III.6: Block paramètres de JB de contrôle.

- Enfin cliquer sur OK pour sauvegarder les donner qui entre

III-4-5. les charges :



le symbole de charge

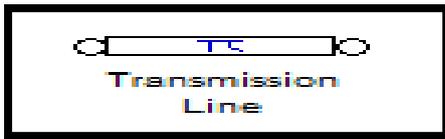
- pour entrer les données des charges nous allons cliquer sur le symbole de charge (PQ load)

La fenêtre de symbole de JB de charge :

Fig III.7: Block paramètres de JB de charge .

- En fin cliquer sur OK pour sauvegarder les données qui entre.

III-4-6. les lignes :

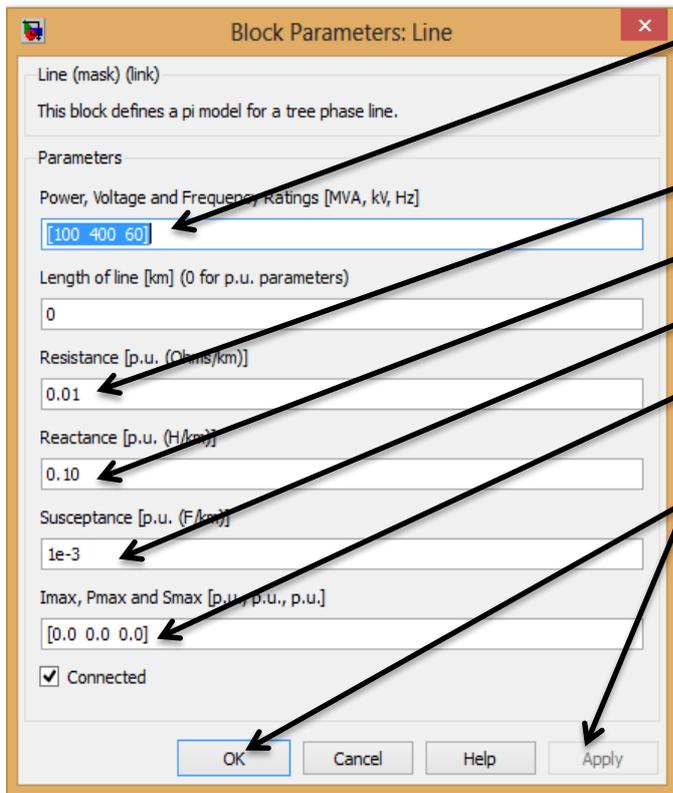


Le symbole de ligne

Pour entrer les donner des charges nous allons cliquer sur le symbole de la ligne.( transmission line [ ] ).

**Note :** les données de résistance et réactance entrer par unité relative (p.u).

La fenetre de parametre de ligne :



- la valeurs de la puissance de base (MVA), la tension (KV) el la fréquence(Hz)
- la valeur de la résistance de ligne (p.u)
- la valeur de la réactance de ligne (p.u)
- la valeur de la susceptance de ligne (p.u)
- les valeurs maximale du courant ,puissance active et la puissance de limite
- cliquer sur Apply puis OK

Fig III.8: Block paramètres de ligne .

III-5. Modèle de test du travail :

Dans ce travail, on a l’analyse de réseau électrique algérien de transport , ce réseau proposé par SONELGAZ dans l’année 2007 qui représente 114 jeux de barre, 175 lignes de transport,15 générateurs et 16 postes de transformation, aussi la tension de base égale 220 KV et la puissance de base égale 100 MVA

III-7. Les résultats obtenus de simulation sous PSAT :

Après la simulation de modèle test par logiciel PSAT on a trouvé les résultats suivants, dans ces résultats nous avons la tension (p.u), la puissance active demandée (MW), la puissance réactive demandée (MVAR) et aussi on a les puissances actives et réactives générées.

Tableau III-1 : résultats de simulation de réseau électrique algérien de transport sous PSAT

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	440.11	559.34
1MEHA26	5	1.060	-0.610	335	250	300.00	135.34
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	1.060	-0.251	96	47	100.50	99.08
1BECHA6	12	0.860	-13.859	31	15	-	-
1AISEF6	13	0.922	-9.096	13	6	-	-
1PELAC6	14	1.046	-2.183	136	65	-	-
1RABLA6	15	1.060	-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	411.72
2ALEST3	18	1.031	-0.423	0	0	-	-
2APORT3	19	1.030	-2.118	11	5	100	95.22
2ARBAA3	20	1.027	-0.901	14	9	-	-
2ARBAA6	21	1.044	1.870	70	52	-	-
2BAEZO3	22	1.030	-1.812	42	25	60.00	77.28
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	1.060	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	1.040	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	0.897	-4.400	21	10	-	-
2OUSLY3	41	0.798	-3.212	53	32	-	-
2OUSLY6	42	0.689	0.065	0	0	-	-
2KHEMI3	43	0.798	-2.044	31	18	-	-
2KHEMI6	44	0.801	0.446	0	0	-	-
2ADEF3	45	0.745	-2.542	12	6	-	-
2ADEF13	46	0.92	-2.185	0	0	-	-
2KHERB3	47	0.750	-1.577	21	10	-	-
2KHERB6	48	0.667	0.104	0	0	-	-
2TENES3	49	0.777	-5.984	13	6	-	-
2OFODA3	50	0.808	-3.410	4	2	-	-
2GHRIB3	51	0.870	-1.664	1	1	-	-
2BOUFA3	52	0.269	-0.712	56	27	80.00	58.21
2BLIDA3	53	0.975	-2.826	16	8	-	-
2EAFFR3	54	0.952	-3.810	21	10	-	-
2CHERC3	55	0.934	-5.337	18	9	-	-
2MEDEA3	56	0.927	-4.370	33	20	-	-
2BERRO3	57	0.978	-1.273	35	21	-	-
2BERRO6	58	1.010	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	0.918	-3.645	35	21	-	-
2TIMED3	67	0.912	-4.077	10	5	-	-
2SEDJE3	68	0.916	-3.254	11	5	-	-
2SGHOZ3	69	1.024	3.067	20	10	-	-
2ILLIT3	70	0.946	-1.574	7	3	-	-
2BOUIR3	71	1.010	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	1.060	6.746	157	107	100.00	224.41
3EAOUI6	81	0.955	2.849	0	0	-	-
3KHROU6	82	1.012	6.149	75	36	-	-
3SKIKD6	83	1.060	9.380	70	51	105.00	86.87
3RADJA6	84	1.060	8.825	46	34	-	-
3ABEID6	85	0.960	3.138	45	22	-	-
3TEBE16	86	0.946	2.175	0	0	-	-
3AMLIL6	87	1.011	6.370	32	15	-	-
3EHADJ	88	0.929	-3.165	46	22	-	-
3SOAHR4	89	0.872	-4.896	34	17	-	-
3EAOUI4	90	0.919	-1.039	18	9	-	-
3TEBES4	91	0.899	-2.141	44	21	-	-
3DJONK4	92	0.879	-2.888	10	5	-	-
3TEBE14	93	0.922	-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	1.050	7.982	42	20	-	-
4DARGU6	98	1.060	9.146	13	6	100.00	55.55
4EHASI6	99	1.050	8.362	105	50	-	-
4JIJEL6	100	1.077	11.514	33	16	205.00	192.08
4MSILA6	101	1.082	9.689	50	24	200.50	221.44
4BBARE6	102	1.060	8.611	34	16	-	-
4BISKR6	103	1.000	5.405	66	32	-	-
4BARIK6	104	1.030	6.977	18	9	-	-
4BARI16	105	1.030	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	99.80	52.55
6MGHAI6	110	1.005	6.095	13	6	-	-
6HMSNO6	111	1.091	12.695	94	56	105.00	110.83
6TOUGO6	112	1.017	7.350	24	12	-	-
6OURGL6	113	1.079	11.903	23	11	-	-
6EOUED6	114	1.001	6.002	24	12	-	-

Tableau III-2: les puissances transités et les pertes dans les lignes :

Nom de ligné	Transite		Puissance active transité	Puissance réactive transité	Transite		Puissance active transité	Puissance réactive transité	Les pertes	
	Unit é	De			vers	MW			MVAR	De
1	1	2	0.5	1.63	2	1	-0.5	1.63	0	0
2	1	6	-0.5	1.60	6	1	0.5	-1.63	0	0
3	6	2	0.76	-3.21	2	6	-0.75	3.21	0.001	0.01
4	42	4	-3.45	-20.98	4	42	3.56	21.51	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	-79.73	-12.85	5	3	79.89	13.96	0.164	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	4.79	-13.33	11	42	-4.76	13.47	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	75.43	45.48	9	3	-74.82	-41.31	0.613	4.18
22	12	13	-31	-15	13	12	31.8	18.8	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	-5.38	-46.94	17	72	5.79	48.47	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	7.95	-59.05	17	64	-7.28	61.49	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	12.02	6.62	0.001	0
41	42	44	-1.34	24.15	44	42	1.47	-23.68	0.132	0.48
42	42	44	-2.93	25.48	44	42	3.04	-24.97	0.109	0.52
43	48	42	-4.1	-37.99	42	48	4.2	38.69	0.102	0.69
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	-5.43	5.21	37	22	5.44	-5.16	0.009	0.04
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	2.97	-0.09	20	18	-2.96	0.11	0.011	0.02
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	1.32	0.69	23	36	-1.32	-0.69	0	0
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	-3.33	4.74	24	25	3.33	-4.72	0.005	0.02
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	1.85	0.57	20	52	-1.84	-0.56	0.003	0.01

81	52	20	1.84	0.56	20	52	-1.84	-0.56	0.003	0.01
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	-0.92	2.3	57	51	0.93	-2.27	0.008	0.03
85	77	57	-7	-3	57	77	7.09	3.29	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	4.83	0.5	40	50	-4.8	-0.41	0.032	0.09
92	41	71	7.24	1.66	71	41	-7.18	-1.47	0.057	0.19
93	68	70	-14.12	-4.49	70	68	14.44	5.06	0.315	0.57
94	46	43	-0.3	1.43	43	46	0.3	-1.42	0.002	0.01
95	43	51	0.11	3.34	51	43	-0.08	-3.3	0.023	0.04
96	55	54	-6.56	-2.12	54	55	6.62	2.34	0.065	0.22
97	43	55	11.79	8.05	55	43	-11.44	-6.88	0.349	1.17
98	62	73	5.42	8.21	73	62	-5.38	-8.07	0.042	0.14
99	67	73	-4.26	-4.64	73	67	4.42	4.97	0.159	0.33
100	67	68	-3.11	0.55	68	67	3.12	-0.51	0.02	0.04
101	26	29	23.29	18.85	29	26	-23.19	-18.72	0.101	0.13
102	66	73	-3.14	-6.34	73	66	3.24	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	-5.5	-2.5	63	65	5.52	2.57	0.021	0.07
105	65	63	-5.5	-2.5	63	65	5.52	2.57	0.021	0.07
106	54	56	4.22	5.69	56	54	-4.16	-5.5	0.057	0.19
107	56	57	-14.42	-7.25	57	56	14.78	8.46	0.363	1.21
108	56	57	-14.42	-7.25	57	56	14.78	8.46	0.363	1.21
109	50	47	-8.83	-2.5	47	50	8.93	2.84	0.102	0.34
110	46	47	-11.74	-7.54	47	46	11.8	7.76	0.066	0.22
111	66	67	2.64	0.95	67	66	-2.63	-0.92	0.011	0.03
112	41	49	13.28	6.93	49	41	-13	-6	0.277	0.93
113	78	19	-13	-7	19	78	13.01	7.01	0.009	0.01
114	79	19	-14	-7	19	79	14.02	7.03	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	-26.31	-14.57	85	86	26.45	15.23	0.141	0.66
119	81	85	-11.75	-8.66	85	81	11.77	8.77	0.023	0.11
120	106	87	-55.01	-25.11	87	106	55.4	26.94	0.39	1.84
121	82	87	-13.77	5.17	87	82	13.78	-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	-18	-9	105	104	18.01	9.03	0.006	0.03
126	106	103	-8.99	-5.89	103	106	9.01	6.01	0.024	0.12
127	82	81	62.32	37.61	81	82	-60.75	-32.05	1.569	5.57
128	82	80	-20.48	-37.46	80	82	21.05	39.47	0.568	2.01
129	84	80	55.93	-15.39	80	84	-55.36	17.41	0.572	2.03
130	83	84	56.71	-13.22	84	83	-56.56	13.77	0.154	0.54
131	83	82	103.29	49.1	82	83	-101.06	-41.23	2.223	7.87
132	98	100	-81.49	-15.13	100	98	82.11	18.79	0.624	3.66
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	-2.01	-0.1	94	82	2.01	0.1	0	0
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	1.98	-0.34	90	93	-1.97	0.35	0.009	0.02
152	110	103	14.26	2.14	103	110	-14.22	-1.96	0.038	0.18
153	112	110	27.41	8.85	110	112	-27.26	-8.14	0.148	0.7
154	114	103	5.13	-0.65	103	114	-5.12	0.7	0.011	0.05
155	108	109	-22	-11	109	108	22.08	11.37	0.078	0.37
156	107	109	-115.9	0.57	109	107	120.92	23.18	5.026	23.74
157	114	112	-29.13	-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	23.09	11.44	113	111	-23	-11	0.093	0.44
160	88	80	-55.24	-31.88	80	88	55.82	46.68	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	-73.54	-34.36	60	59	73.63	37.65	0.089	3.3

167	63	64	-95.71	-53.63	64	63	95.94	62.3	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	-30	-15	31	30	30.01	15.52	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

- La puissance active générer total **2455.91 MW**
- La puissance reactive générer total **1783.44 MVAR**
- Pertes active total **126 MW**
- Pertes réactive total **694 MVAR**

III-8.Comparaison entre Pmax et Pgen :

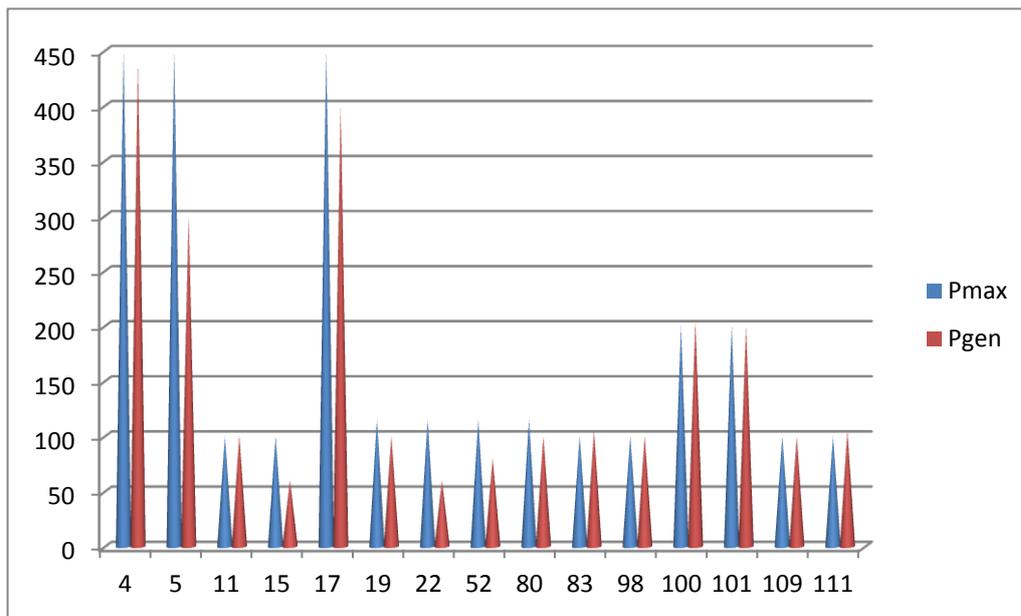


Fig III-9 : comparaison entre Pmax et Pgen

Après la comparaison entre la puissance maximale et la puissance générer nous remarquons que la puissance générer dépassé la puissance maximale dans les jeux de barre suivants JB 11,JB 83,JB 100, JB 101 , JB 111.et observons aussi dans le jeux de barre 98 la puissance générer égale la puissance maximale .

### III-9. le profil de tension :

cette figure représente la tension de chaque jeu de barre

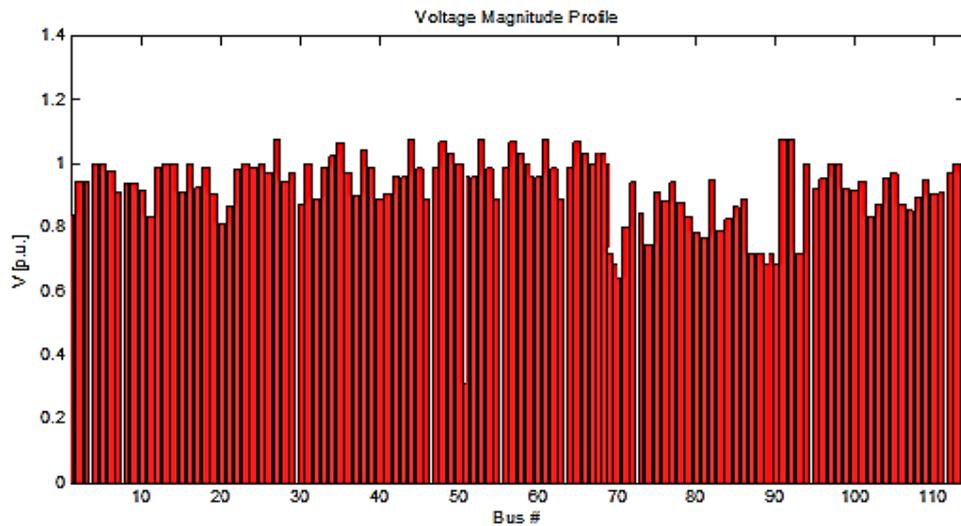


Fig III-10 : la tension en fonction des jeux de barre

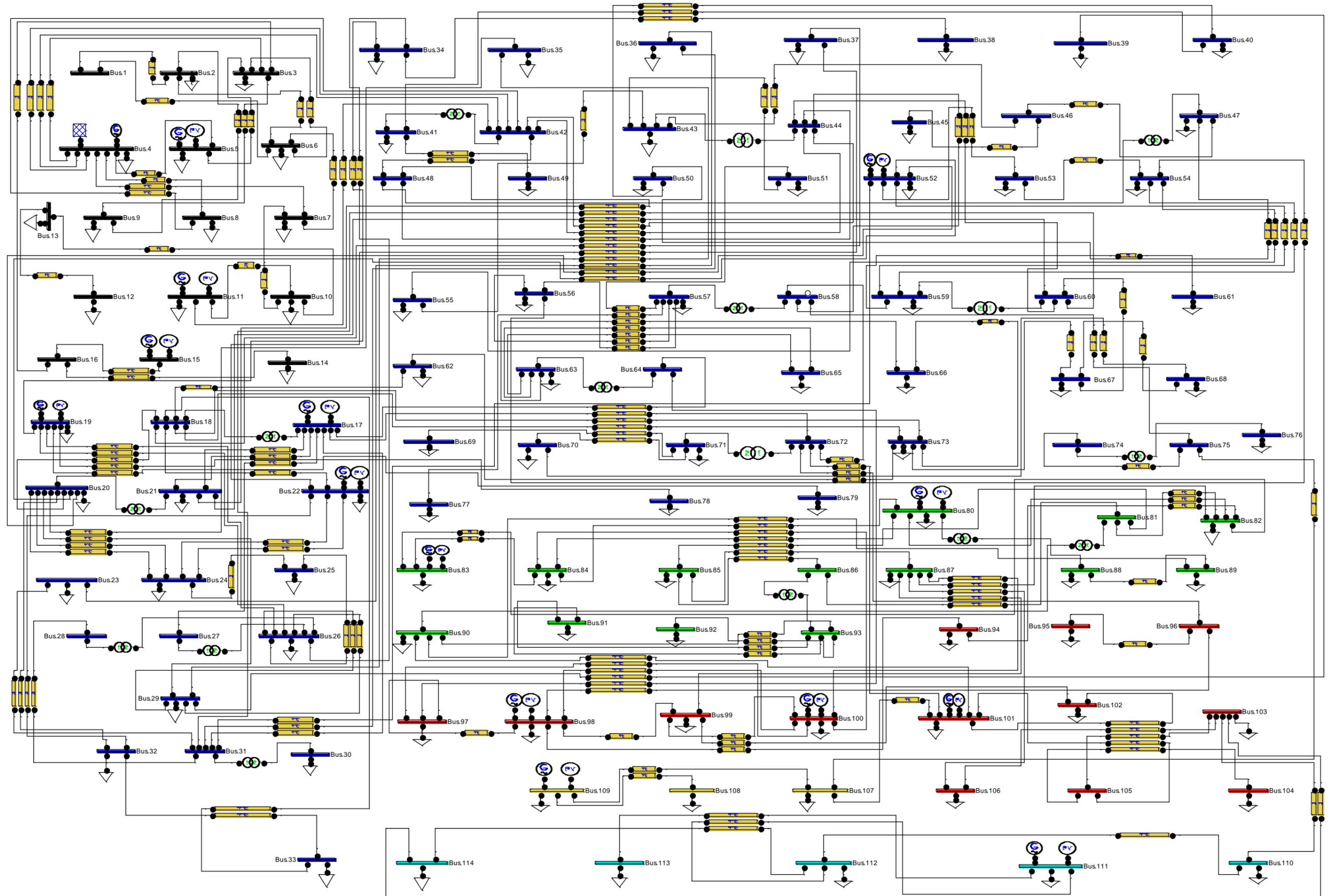
#### Remarque :

Dans les résultats nous remarquons quelques erreurs sur la puissance générée et aussi la tension sur quelques jeux de barre, cette observation pour quelque étude à l'avenir.

### III-10. Conclusion :

D'après les résultats de simulation de réseau électrique algérien de transport nous remarquons que la tension dans quelques jeux de barre inférieure de la tension minimale et aussi la puissance générée dépasse la puissance maximale.

III-6. schéma de réseaux électriques algérien de transport sous logiciel PSAT :



# Conclusion générale

### Conclusion générale

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

En introduisant un nouveau concept par le système de transmission de l'énergie à courant alternatif flexible appelée FACTS, avec lesquels le contrôle du flux de puissance active et réactive pour l'amélioration des réseaux électriques.

Nous avons présenté aussi les informations principales de réseau électrique algérien de transport d'électricité et les données de base pour l'analyse de ce réseau

Dans la dernière étape, nous avons présenté le schéma électrique unifilaire de réseau étudié détaillé à savoir 114-bus et nous avons analysé le réseau électrique algérien de transport sous logiciel de simulation PSAT pour observer tous les valeurs de ce réseau (la puissance active et réactive générer, la tension et la somme des pertes active et réactive dans ce réseau). .

Les résultats obtenus montrent des remarques très importantes montrent que ce réseau Algérien présent des performances acceptables de point de vue d'une perte de puissance, ainsi qu'un limité respect des conditions techniques relative à la tension et la puissance généré au niveau de chaque jeux de barres.

Comme perspective de ce travail, nous proposons d'introduire des FACTS série ou parallèle pour avoir le meilleur profil de la tension et le minimum des pertes de puissance tout en respectant toutes les contraintes techniques imposées préalablement.

## Bibliographie

---

- [1] M. A Tolba, "Commande des systèmes d'énergie de puissance par des approches heuristiques modernes", Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 2004.
- [2] Lottfi Baghli, "réalisation d'un environnement avec base de données pour l'analyse et la simulation des réseaux électriques", thèse ingénieur de E.N.P, juin 1994.
- [3] 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, Juin 2005.
- [4] Hadj Ammar Abdelhamid & Lidi Hamza, " ETUDE DE LA LIGNE MT-30kV ENASEL II " Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, Université de Biskra, juin 2006.
- [5] Adama D. Diarra, "La répartition optimale de la puissance réactive pour le contrôle des tensions de barre d'un réseau électrique par simplex LP", Université du Québec ; Septembre 1984.
- [6] Ward, J.B. and Hale, H.W., "Digital Computer Solution of Power Flow Problems". Trans.Am.Inst.Elect.Eng., Part 3 75 398-404, 1956.
- [7] Mémoire de fin d'Etude en électrotechnique « Modélisation et Intégration des dispositifs de compensation dynamique FACTS » Réalisé par AGGOUNI Yahia et MANCER. Nabil Université de Biskra, Promotion 2007
- [8] A .José, L. .José. Science Direct« optimal parameters of FACTS devices in electric pow systems applying evolutionary strategies» thèse de Doctorat de l'Université de Nantes, Le 15 May 2006
- [9] Besanger Y. Vers L'amélioration De La Sécurité Des Réseaux Électriques De Puissance Habilitation à Diriger des Recherches de l'Institut National Polytechnique de Grenoble04 Décembre 2006
- [10] Hingorani N.G. , Gyugyi L., "Understanding FACTS", IEEE Press., New York, 2000
- [11] LU Wei « Le délestage optimal pour la prévention des grandes pannes d'électricité Docteur De L'institut Polytechnique De Grenoble le 6 Juillet 2009
- [12] Machowski J., Bialek J.W. and Bumby J.R., Power system dynamics and stability, West Sussex, London, John Wiley & Sons Ltd, 1998.
- [13] Passelergue J.C., « Interactions des dispositifs FACTS dans les grands réseaux électriques », These de doctorat, Institut Nationale Polytechnique de Grenoble, 1998.
- [14] Brogan W.L., et al., Control Systems, The Electric Engineering Handbook, CRC Press LLC, Boca Raton, 2000.

## Bibliographie

---

- [15] Brogan W.L., et al., Control Systems, The Electric Engineering Handbook, CRC Press LLC, Boca Raton,2000.
- [16] Petit clair P., “Modélisation et Commande de structures FACTS: Application au STATCOM”, Thèse de doctorat de l’INPG 16 Juillet 1997
- [17] Plan de développement 2007-2017 production d’électricité ", Direction général du développement et de la stratégie SONELGAZ, N°110 DGDS, Alger 2007.
- [18] Labed Djamel, Bouchahdane Mohamed, Bouzid Aïssa”Influence of dispersed generation on network Morocco- Algeria-Tunisia”Workshop International sur les Energies Renouvelables et leurs Applications 17-18 Novembre 2009 Bejaia-Algérie.
- [19] mémoire de fin étude de *ZELLAGUI Mohamed, BOUZID Aïssa & BELDJEZZAR Ahmed.* dans le 26 Octobre 2009 Université de Tébessa - Algérie.