

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Réseaux électriques

Présenté par

DJARALLAH TAHAR et TOUMI DJAAFAR

Thème:

**Etude de l'écoulement de puissance dans un
réseau électrique en présence des systèmes
FACTS**

Soutenu le .../06/2018 Devant le jury composé de :

Mr. MIDADRIS

Maitre de conférences

Président

Mr. LABBI YACINE

Maitre de conférences

Rapporteur

Mr. MAMMERI OUSSAMA

Maitre de conférences

Examineur

Année Universitaire :2017/2018

DEDICACES

C'est tout plein de joie que je dédie ce travail à ceux qui m'ont été

une source

d'inspiration et de volonté ;

A ma mère et mon père pour leurs encouragements et conseils

durant la

période de mes études ;

Je le dédie à mes très chers frères et sœurs ;

A toute ma grande famille toumi;

Une dédicace à tous mes amis, ET pour tous ceux qui me

connaissent ;

Une dédicace spéciale à tous mes amis, sans oublier les habitants

de mon

village ;

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire

à mon binôme.

DEDICACES

*C'est tout plein de joie que je dédie ce travail à ceux qui m'ont été
une source*

d'inspiration et de volonté ;

*A ma mère et mon père pour leurs encouragements et conseils
durant la période de
mes études ;*

Je le dédie à mes très cher frère et sœurs ;

A toute ma grande famille djarallah;

*Une dédicace à tous mes amis, ET pour tous ceux qui me
connaissent ;*

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire
à mon binôme.*

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience , qu'il nous a donné durant toutes ces longues années

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr. Yacine labbi pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidés à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail. En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel...

Résumé :

Cette étude a pour objectif d'analyser l'écoulement de puissance et pour détecter le problème en eux et les traiter en utilisation des dispositifs FACTS d'un réseau électrique surchargé au niveau de sa zone faible qui est constituée de nœuds de charge les plus éloignés des points de production. Cette analyse a révélé des anomalies relatives aux profils de tension des jeux de barres, et aux pertes de puissance active et réactive dans les lignes. Pour remédier à ce problème, il convient de recourir aux dispositifs FACTS. Cette étude a été appliquée sur le réseau standard IEEE 6et30nœuds, en s'appuyant sur des algorithmes réalisés avec le logiciel MATLAB. Comme nous comptons sur notre étude sur l'application les algorithmes de Newton-Raphson et Algorithmes Génétiques Les résultats obtenus montrent clairement l'effet bénéfique de la présence du SVC sur les performances du réseau. En effet, il permet de soutenir de façon homogène les tensions du réseau en injectant réseau en injectant de la puissance réactive au point où il est implanté. Cependant, son effet sur les puissances transitées reste modéré par rapport aux dispositifs FACTS séries.

Mots-clés: écoulement de puissance, dispositifs FACTS, SVC, optimisation, algorithme de Newton-Raphson, l'algorithme génétiques.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تدفق الطاقة والكشف على المشكل الموجود فيها ومعالجتها بإستعمال أجهزة FACTS. في شبكة تحتوي على منطقة متكونة من العقد بعيدة عن مركز إنتاج الطاقة هذه. الدراسة بينت خلل في قيمة التوتر على مستوى العقد استهلاك الطاقة ومن جهة أخرى خلل في الطاقة الضائعة عبر أسلاك التوصيل. لمعالجة هذه المشكلة، نستخدم أجهزة FACTS. ثم تطبيق الدراسة على شبكة 6 JB و JB30 وذلك باستخدام خوارزميات مبرمجة ببرنامج MATLAB. كما نعتمد في دراستنا على تطبيق طريقة نيوتن رفسن وخوارزميات الجينية. النتائج المتحصل عليها تبين بوضوح الأثر الايجابي لوجود SVC على أداء الشبكة الكهربائية حيث يمكن تحسين التوتر بطريقة متجانسة على كل الشبكة وذلك بتزويد العقد بالطاقة اللازمة غير أنأثره على الطاقة المتدفقة في الأسلاك الكهربائية تبقى ضعيفة مقارنة بأجهزة FACTS على التسلسل.

Sommaire

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Sommaire.....	iv
Listes des Figures.....	vii
Listes des Table.....	ix
Listes des Symbole.....	x
Introduction Général.....	xiv
Conclusion générale	xvi
Références bibliographiques	xviii
Annexes	xx

Chapitre I Généralité sur l'écoulement de puissance et la compensation de la puissance réactive

I.1. Introduction.....	1
I.2. Modélisation simplifiée des éléments du réseau électrique pour l'étude de l'écoulement de puissance.....	1
I.2.1. Modèle du générateur.....	2
I.2.2. Modèle de la ligne de transmission.....	2
I.2.3. Modèle de la charge électrique.....	3
I.2.4. Modèle de l'élément shunt.....	3
I.3. Analyse de l'écoulement de puissance.....	4
I.3. 1. Classification des jeux de barres.....	4
I.3.2. Matrice d'admittance nodale.....	5
I.3.3. Les équations de l'écoulement de puissance	7

I.3.4. Equations de l'écoulement de puissance dans les lignes et les pertes	7
I.3.5. Méthodes numériques de résolution d'un problème d'écoulement de Puissance par la Méthode de Newton-Raphson.....	8
I.4.Puissance transmise par une ligne et intérêt de la compensation de la puissance réactive....	12
I.4.1Moyens de compensation de la puissance réactive.....	14
I.5Concollusion	15

*Chapitre II**SYSTEM FACTS*

II.1 Introduction.....	16
II.2. Définition de l'acronyme « FACTS »	16
II.3. Classification des dispositifs FACTS	17
II.4.Différentes Catégories des FACTS	18
II.5.Les principaux dispositifs FACTS	19
II.5.1.Dispositifs séries	19
II.5.2.Dispositifs shunts (parallèles)	21
II.5.3. Dispositifs hybrides (série-shunt)	23
II.6.Synthèse	24
II.7. Apports et Avantages des dispositifs FACTS	24
II.8.Applications Pratiques des Dispositifs FACTS	25
II. 9. Coût des dispositifs FACTS	26
II. 10. Conclusion	26

*Chapitre III**Algorithme génétique*

III.1 Introduction.....	27
III.2. Définition.....	27
III.3. Terminologie.....	27
III.4. Principe.....	27
III.5. Présentation des Algorithmes Génétiques.....	28
III.5.1. Fonction d'Evaluation et Fonction Fitness.....	28
III.5.2. Codage et Décodage des Variables.....	29

II.5.3. Sélection des Individus pour la Reproduction.....	29
III.5.3.1. Les Différentes Méthodes de Sélection.....	29
III.5.4. La Recombinaison Génétique.....	31
III.5.4.1. Croisement.....	31
III.5.4.2. Mutation.....	32
III.6 Les avantages des algorithmes génétiques.....	33
III.7 Conclusion	34

Chapitre IV APPLICATION

VI.1 Introduction	35
IV.2 application.....	35
IV.2.1. Fonction d'objective.....	36
IV.2.2. Algorithme.....	36
IV.3. Simulations.....	36
IV.3.1. Le réseau de test IEEE-6 jeux de barres.....	36
IV.3.2. Cas n°1-Simulation sur un réseau de IEEE-6bus.....	37
IV.3.3. Le réseau de test IEEE-30 jeux de barres.....	43
IV.3.4. Cas n°2-Simulation sur un réseau de IEEE-30 bus.....	44
IV.3 Conclusion.....	49

Liste des Figures

CHAPITRE:01

Figure I. 1: Modèle d' un générateur utilisé dans l' étude de l' écoulement de puissance.....	2
Figure I. 2: Schéma équivalent en π d'une ligne de transmission.....	2
Figure I. 3: Modèle de la charge électrique.....	3
Figure I. 4: Modèle de l'élément shunt.....	3
Figure I. 5: Réseaux à 3 nœuds.....	5
Figure I. 6: Ligne électrique alimentant une charge.....	12

CHAPITRE:02

Figure II.1 : différentes catégories des dispositifs de contrôle des réseaux électriques	18
Figure II.2 : Compensation série	19
Figure II.3 : Structure du TCSC	20
Figure II.4 : Structure du TCSR	20
Figure II.6 : Compensateur Shunt	21
Figure II.7 : Structure du TCR (TSR).....	21
Figure II.8 : Structure du TSC	22
Figure II.9 : Structure du SVC	22
Figure II.14 : Structure de l' UPFC	23

CHAPITRE:03

Figure III.1 codage et décodage des variables	29
Figure III.2 : Exemple de sélection par roulette	30
Figure III.3 Représentation schématique du croisement en un point	32
Figure III.4 : Représentation schématique du croisement en deux points	32
Figure III.5 : Représentation schématique de la mutation simple	33
Figure III.6 : Organigramme d'un algorithme génétique	34

CHAPITRE:04

Figure IV.1: Schéma unifilaire du réseau électrique à 6 jeux de barres 37

Figure IV.2 : le convergence de fonction d'objective DV du réseau électrique à 6 JB 38

Figure IV.3 : le model des chut tensions du réseau électrique à 6 JB 39

Figure IV.4 : le model des tensions du réseau électrique à 6 JB 40

Figure IV.5 : le convergence de fonction d'objective cout SVC du réseau électrique à 6 JB 41

Figure IV.6: le convergence de fonction d'objective PL du réseau électrique à 6 JB 42

Figure IV.7 : le convergence de fonction d'objective *FF* du réseau électrique à 6 JB 43

Figure IV.8 : Schéma unifilaire du réseau IEEE30 Bus 44

Figure IV.9 : le convergence de fonction d'objective DV du réseau électrique à 30 JB 44

Figure IV.10 : le module de tensions du réseau électrique à 30 JB 46

Figure IV.11 : le module de angle du réseau électrique à 30 JB 47

Figure IV.12 : le convergence de fonction d'objective cout d'installation SVC du réseau électrique à 30 JB..... 47

Figure IV.13 : le convergence de fonction d'objective PL du réseau électrique à 30 JB 48

Figure IV.14 : le convergence de fonction d'objective *FF* du réseau électrique à 30 JB 49

Liste des tableaux

Tableau II.1 :Application des FACTS à la résolution des problèmes dans le réseau 24

Tableau II.2 :Dispositifs FACTS installés dans le monde 25

Tableau IV.1: les paramètres de l'AG – Binaire 37

Tableau IV .2 : résulta optimisé ΔU dans le réseaux 6 IEEE 38

Tableau IV.3 : le chut de tension dons le cas sans SVC et le cas avec SVC 39

Tableau IV.4 : de tension dons le cas sans SVC et le cas avec SVC 39

Tableau IV.5 : le angle dons le cas sans SVC et le cas avec SVC 40

Tableau IV.6 : résulta optimisé le cout d'installation diapositif SVC dans le réseaux 6 41

Tableau IV.7 : résulta optimisé perte active PL dans le réseaux 6 IEEE 42

Tableau IV.8 : résultat optimisé FF dans le réseaux 6 IEEE 43

Tableau IV.9 : minimisation chut de tension dans le réseaux 30 IEEE 45

Tableau IV.10 : tension dans le cas sans SVC et le cas avec SVC 45

Tableau IV.11: le angle dons le cas sans SVC et le cas avec SVC 46

Tableau IV.12 : résulta optimisé cout d' installation SVC dans le réseaux 30 IEEE 48

Tableau IV.13 : résulta optimisé perte active PL dans le réseaux 30 IEEE 48

Tableau IV.14 : résulta optimisé FF dans le réseaux 30 IEEE 49

Liste des Symboles Notations

V_g : tension générée

P_g : Puissance active générée

Q_g : Puissance réactive générée

P_{gmax} :Puissance active générée maximal

Q_{gmax} : Puissance réactive générée maximal

T: transformateur

π : modèle la ligne électrique

Z_m :Impédance série par phase

Y_{im}^{shunt} :L'admittance shunt

X: la réactance série de la ligne entre les jeux de barres *i* et *m*.

R: la résistance série de la ligne entre les jeux de barres *i* et *m*.

Z_{charge} :Impédance charge

V_i: Module de la tension au noeud *i*

P_i: puissances actives au jeu de barres *i*

Q_i: puissances réactives au jeu de barres *i*

δ_i :la phase de tension au jeu de barres *i*

Q_{G1}: puissances réactives générée au jeu de barres 1

Jeu de barres de référence (|V|, δ)

Jeu de barres de contrôle (PV bus)

Jeu de barres de charge (PQ bus)

I_i :Courant injecte a J.d.B «*i* »

Y_{im} :L'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres *i* et *m*

S_i: Puissance apparente au jeu de barres *i*

S_{Gi} :Puissance apparente générée au jeu de barres *i*

S_{GD} :Puissance apparente générée demandé

S_i^{*} Puissance apparente conjugué au jeu de barres *i*

Liste des Symboles et Notations

I_{ik} : Le courant circulant entre les deux jeux de barres i et K

y_{ik} : L'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et K ;

$V_i Y_p$: La contribution shunt du courant au jeu de barres i ;

y_p : L'admittance shunt au jeu de barres.

$i = 1$: Représente le nœud de référence

n : Nombre de nœuds

i : Numéro du nœud

J_1, J_2, J_3 et J_4 : sont les sous-matrices de Jacobienne

ΔV : chute de tension

ΔC : cout d'installation dispositif SVC

PL : pertes totale

$QSVC$: puissance réactive SVC

$N^{\circ}JB\ SVC$: numéro je de barre SVC

Notations

CCT: Condensateurs Commandés par Thyristor.

CSPR: Compensateur Statique de Puissance Réactive.

FACTS: Flexible Alternating Current Transmission Systems.

GTO: Gate Turn Off.

IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistors.

IGCT: Insulated Gate Commutated Thyristors.

IPFC: Interline Power Flow Controller.

STATCOM: Static Synchronous Compensator.

SSSC: Static Synchronous Series Compensator.

SVC: Static Var Compensator.

TCR: Thyristor Controlled Reactor.

Liste des Symboles et Notations

TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor.

TSC: Thyristor Switched Capacitor.

TSR: Thyristor Switched Reactor.

TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor.

UPFC: Unified Power Flow Controller.

Introduction Générale

Habituellement, une centrale n'est pas située à proximité du centre de charge, mais elle peut être loin du centre de distribution en raison de circonstances diverses. Pour répondre à la demande de puissance, sans cesse croissante, les services publics préfèrent s'appuyer sur la production de l'électricité déjà existante au lieu de construire de nouvelles lignes de transmission qui sont limitées par des contraintes diverses. Par conséquent, il est impératif d'améliorer l'utilisation de l'énergie électrique en maximisant d'une part les puissances transitées dans les lignes et conservant la fiabilité et la sécurité du réseau d'une autre part.

Les réseaux électriques jusqu'à ces dernières années sont contrôlés avec des dispositifs mécaniques ayant un temps de réponse plus au moins long et avec lesquels l'action d'amorçage et de réamorçage ne peut être répétitivement exécutée à une fréquence élevée. Pour assurer un meilleur contrôle du réseau, des dispositifs connus sous le nom des FACTS «Flexible Alternating Current Transmission System » sont de nos jours utilisés. Ces derniers font en général appel à de l'électronique de puissance, des microprocesseurs, de l'automatique, des télécommunications et des logiciels pour parvenir à contrôler les systèmes de puissance. Ce sont des éléments de réponse rapide. Ils donnent en principe un contrôle plus souple de l'écoulement de puissance. Ils donnent aussi la possibilité de charger les lignes de transit à des valeurs près de leur limite thermique, et d'augmenter ainsi la capacité de transfert de valeurs près de leur limite thermique, et d'augmenter ainsi la capacité de transfert de puissance d'une région à une autre. Ils limitent aussi les effets des défauts et de défaillances de l'équipement, et stabilisent le comportement du réseau électrique.

Le sujet de ce mémoire porte en particulier sur l'analyse de l'écoulement de puissance dans un réseau de transport d'énergie électrique au moyen de dispositifs SVC. Afin d'analyser l'écoulement de puissance et l'influence des FACTS, on a eu recours à la programmation en utilisant le logiciel « MATLAB ».

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire est organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre Généralité sur l'écoulement de puissance et la compensation de la puissance réactive des réseaux standards IEEE en

utilisant les algorithmes de Newton-Raphson. Le deuxième chapitre sur le système FACTA Une partie de ce chapitre est consacrée à la présentation des dispositifs FACTS en décrivant les différents types des systèmes de compensation Le troisième chapitre sur Les Algorithmes Génétiques .Le chapitre quatrième application pour appliquer cette étude sur un modèle de réseau électrique de transport IEEE 6 et 30 jeux de barres sans et avec la présence du compensation SVC où plusieurs constatations vont être dégagées. Finalement, une conclusion générale récapitulera les principaux résultats de ce travail et apportera quelques perspectives[1].

Chapitre 1

*Généralité sur l'écoulement
de puissance et
la compensation de la
puissance réactive*

Chapitre I

Généralité sur l'écoulement de puissance et la compensation de la puissance réactive

I.1. Introduction :

L'exploitation des réseaux électriques pose de nombreux problèmes d'ordre technique et économique. L'exploitant du réseau doit assurer en tout temps et en tout lieu la couverture de l'énergie demandée, de garantir une qualité acceptable de la puissance livrée et de procurer une sécurité d'alimentation élevée avec un coût aussi faible que possible.

Dans ce chapitre, nous rappelons d'abord les notions des réseaux électriques ; puis nous présentons l'analyse de l'écoulement de puissance en décrivant les méthodes numériques utilisées pour l'étude de la répartition de charge dans un réseau électrique et finirons par une présentation des systèmes de compensation d'énergie réactive à savoir les dispositifs FACTS[1].

I.2. Modélisation simplifiée des éléments du réseau électrique pour l'étude de l'écoulement de puissance :

Un réseau d'énergie électrique est un système d'éléments interconnectés conçu :

- ✓ Pour convertir d'une façon continue l'énergie qui n'est pas sous forme électrique en énergie électrique.
- ✓ Pour transporter l'énergie électrique sur de longues distances.
- ✓ Pour transformer l'énergie électrique sous des formes spécifiques soumises à des contraintes bien déterminées.

Les éléments principaux d'un réseau peuvent être classés en trois sous-systèmes [2] :

Production (génératrices).

- ✓ Transport, répartition et distribution (lignes).
- ✓ Utilisation (consommateurs).

Pour étudier un réseau d'énergie électrique complexe, des modèles ou schémas équivalents de ces principaux composants (générateurs, différents types de transformateurs, lignes et charges) sont établis.

I.2.1. Modèle du générateur :

Le générateur est considéré comme le coeur du réseau électrique. Il assure la production de l'énergie électrique demandée par le consommateur. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, le générateur est modélisé comme une source de tension constante V_g qui injecte de la puissance active P_g et réactive Q_g (figure I.1).

La puissance réactive du générateur s'adapte de façon à maintenir la tension au nœud i constante. Aussi, le générateur est caractérisé par deux limites de puissance réactive $P_{g \max}$ et $Q_{g \max}$. Lorsque l'une de ces limites est atteinte, la puissance Q_s reste inchangée et la tension au nœud n 'est plus fixe.

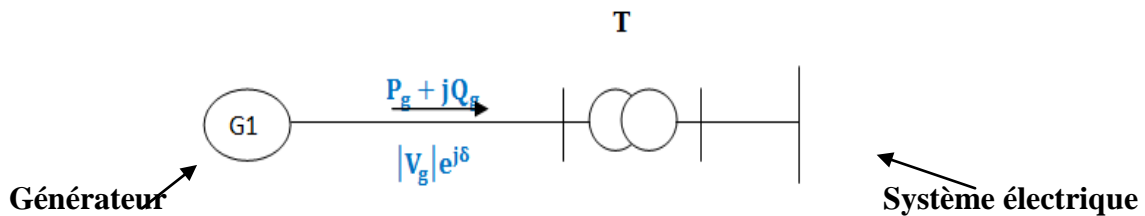
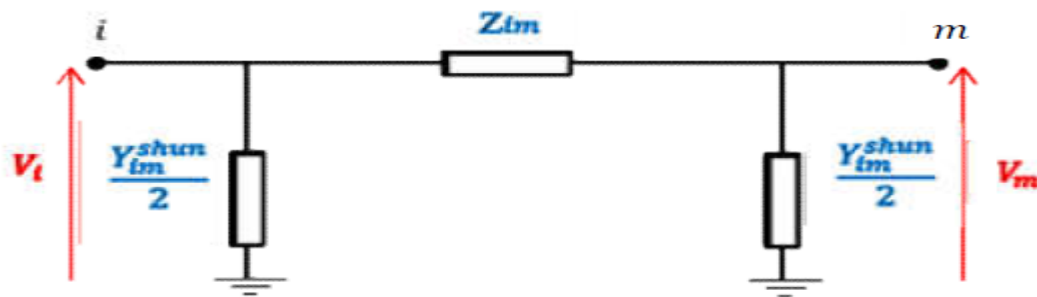


Figure I. 1: Modèle d'un générateur utilisé dans l'étude de l'écoulement de puissance

I.2.2. Modèle de la ligne de transmission :

La ligne de transmission de l'énergie électrique située entre les nœuds i et m est généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type (π) comme indiqué sur la figure I.2.



Z_m : Impédance série par phase : $Z_m = R + jX$

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

Y_{lm}^{shunt} : L'admittance shunt

Figure I. 2: Schéma équivalent en π d'une ligne de transmission

I.2.3. Modèle de la charge électrique

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une impédance Z_{charge} qui consomme de la puissance active P_L et réactive Q_L constantes (figure I.3). Cette charge représente souvent des postes de répartition (sous stations) qui alimentent des réseaux de distribution

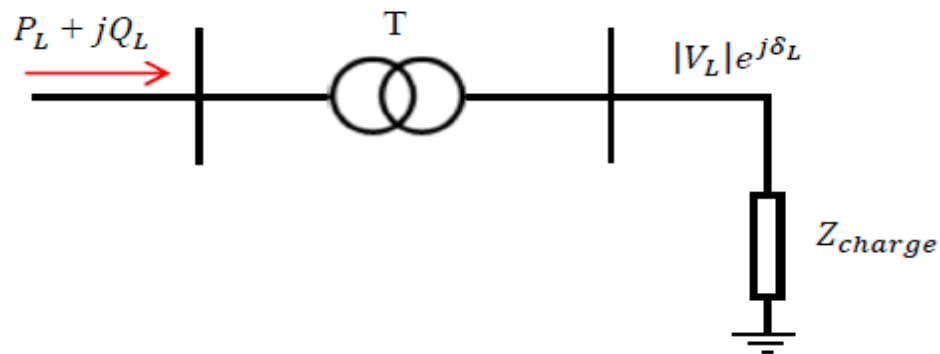


Figure I. 3: Modèle de la charge électrique

I.2.4. Modèle de l'élément shunt

Dans la plupart des cas, des éléments shunt (batteries de condensateurs ou réactances) sont insérés dans le réseau électrique pour fournir ou absorber de la puissance réactive afin d'obtenir un meilleur profil de tension [3].

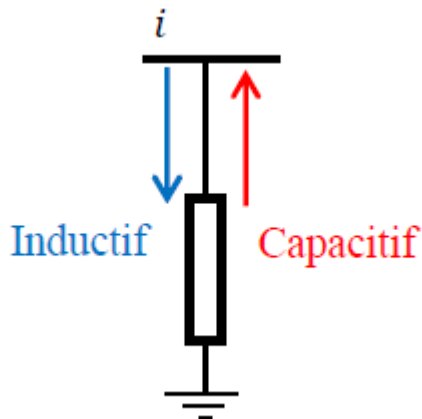


Figure I. 4: Modèle de l'élément shunt.

I.3. Analyse de l'écoulement de puissance

L'étude de l'écoulement de puissance est une étape primordiale de toute analyse sérieuse d'un réseau électrique. En effet, elle nous permet de calculer les grandeurs d'un réseau en régime permanent équilibré à savoir les modules et phases des tensions en tout point du réseau. A partir de ces dernières, on peut calculer les courants dans les lignes de transport, les puissances actives et réactives transitées et les pertes de puissances provoquées lors du transport d'énergie électrique. Cette analyse est très importante pour les études, la planification et l'exploitation d'un réseau électrique[1].

I.3.1 Classification des jeux de barres

Il y a quatre grandeurs fondamentales associées à chaque jeu de barres i du réseau, à savoir le module de tension V_i , la phase de tension δ_i , la puissance active injectée P_i et la puissance réactive injectée Q_i . Pour chaque jeu de barres, deux variables doivent être spécifiées au préalable et les deux autres sont à calculer [4]. Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les jeux de barres du système sont classés en trois catégories :

Jeu de barres de référence ($|V|, \delta$)

Le jeu de barres de référence est choisi parmi ceux où un générateur est connecté. Le rôle de ce jeu de barres est de fournir la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes de transmission, car celles-ci ne sont pas connues d'avance. En plus, ce jeu de barres sert de référence pour les phases des tensions. Par convention, ce jeu de barres est identifié par le jeu de barres N°1, dont le module et la phase de tension sont toujours spécifiés ($V_1 = 1$ pu et $\delta_1 = 0^\circ$). Par conséquent, les puissances P_1 et Q_1 sont inconnues, du fait que P_{G1} et Q_{G1} ne sont pas spécifiées d'avance [5].

Jeu de barres de contrôle (PV bus)

Chaque jeu de barres du système dont le module de tension est maintenu constant est considéré comme un jeu de barres à tension contrôlée ou jeu de barres générateur. Ce type de jeux de barres est connecté avec un générateur. Au niveau de ce jeu de barres, δ_i et V_i sont des grandeurs spécifiées (connues). Donc, Q_i n'est pas connue à l'avance étant donné que Q_{Gi} est inconnue. Il en est de même pour δ_i [5].

✚ Jeu de barres de charge (PQ bus)

Tous les jeux de barres du réseau dont l'injection des puissances actives et réactives est donnée, sont considérés comme des jeux de barres de charge. Pour ce type de noeud, les puissances active P_i et réactive Q_i sont connues et la procédure de l'écoulement de puissance donne les valeurs de V_i et δ_i auparavant inconnues [5].

Le tableau I.1 ci-dessous donne les variables connues et inconnues pour chaque type de jeu de barres.

Type du jeu de barres	Variables Connues	Variables inconnues
Charge (P, Q)	P, Q	$ V , \delta$
Contrôle (P, V)	P, $ V $	Q, δ
Référence (slack/swing bus)	$ V , \delta$	P, Q

Tableau I.1: Les variables au niveau des différents types de jeu de barres

I.3.2. Matrice d'admittance nodale

Les équations de l'écoulement de puissance utilisant la formulation des admittances nodales pour un réseau à trois noeuds, sont d'abord développées, puis elles sont généralisées pour un système à n noeuds.

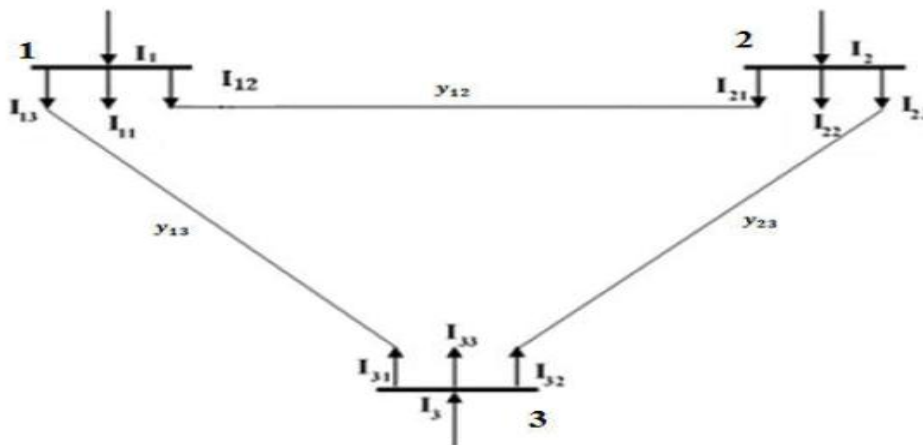


Figure I. 5: Réseaux à 3 noeuds

$$I_1 = I_{11} + I_{12} + I_{13} \quad (\text{I. 1})$$

$$I_1 = V_1 y_{11} + (V_1 - V_2) y_{12} + (V_1 - V_3) y_{13} \quad (\text{I. 2})$$

$$I_1 = V_1(y_{11} + y_{12} + y_{13}) - V_2 y_{12} - V_3 y_{13} \quad (\text{I. 3})$$

En posant :

$$Y_{11} = y_{11} + y_{12} + y_{13} \quad (\text{I. 4})$$

$$Y_{12} = -y_{12} \quad (\text{I. 5})$$

$$Y_{13} = -y_{13} \quad (\text{I. 6})$$

On aura l'expression du courant ci-dessous :

$$I_1 = V_1 Y_{11} + V_2 Y_{12} + V_3 Y_{13} \quad (\text{I. 7})$$

De la même manière, on trouve les équations des courants nodaux pour les autres noeuds.

$$I_2 = V_1 Y_{21} + V_2 Y_{22} + V_3 Y_{23} \quad (\text{I. 8})$$

$$I_3 = V_1 Y_{31} + V_2 Y_{32} + V_3 Y_{33} \quad (\text{I. 9})$$

Ces équations peuvent être écrites sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (\text{I. 10})$$

Le courant injecté au jeu de barres i peut se mettre sous la forme :

$$I_i = \sum_{m=1}^3 Y_{im} V_m \quad (\text{I. 11})$$

Cette dernière équation, qui traite un système à trois noeuds, peut être généralisée pour un système à n noeuds:

$$I_i = \sum_{m=1}^n Y_{im} V_m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{I. 12})$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{I. 13})$$

I.3.3. Les équations de l'écoulement de puissance

Le bilan de puissance électrique à un jeu de barres i d'un réseau électrique de n jeux de barres est égal à la différence entre la puissance générée S_{Gi} et la puissance demandée S_{Di} au niveau du même jeu de barres.

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = (-P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di}) \quad (I.14)$$

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* \cdot I_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (I.15)$$

Le courant I_i peut se mettre sous la forme suivant :

$$I_i = \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| \angle(\theta_{im} + \delta_m) \quad (I.16)$$

En remplaçant l'expression du courant, l'équation (I.15) peut d'écrire:

$$S_i^* = P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| \angle(\theta_{im} + \delta_m) \quad (I.17)$$

En séparant la partie réelle et la partie imaginaire de l'équation (I.17) on aura les équations (I.18) et (I.19) des puissances actives et réactives au jeu de barres i :

$$P_i = \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (I.18)$$

$$Q_i = -\sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (I.19)$$

I.3.4. Equations de l'écoulement de puissance dans les lignes et les pertes

La détermination des valeurs des puissances réparties dans les lignes de transport est indispensable afin de localiser les lignes électriques surchargées et de calculer la valeur des pertes de puissance.

Le courant circulant entre les deux jeux de barres i et K est considéré positif lorsqu'il est dirigé de i vers K et sont expression est la suivante [6] :

$$I_{ik} = y_{ik}(V_i - V_k) + V_i y_p \quad (I.20)$$

y_{ik} : L'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et K ;

$V_i y_p$: La contribution shunt du courant au jeu de barres i ;

y_p : L'admittance shunt au jeu de barres.

De la même manière, le courant qui circule du noeud K vers le noeud i est donné par :

$$I_{ki} = y_{ki}(V_k - V_i) + V_k y_p \quad (I.21)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_{ik} \quad (I.22)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^*(V_i - V_k) y_{ik} + V_i^* V_i y_p \quad (I.23)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^*(V_k - V_i) y_{ik} + V_k^* V_k y_p \quad (I.24)$$

La valeur des pertes de puissance dans la ligne entre les deux jeux de barres i et K est la somme algébrique de répartition des puissances déterminées à partir des équations (I.23) et (I.24).

I.3.5. Méthodes numériques de résolution d'un problème d'écoulement de

Puissance par 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. Par conséquent, cette méthode permet de réduire fortement le temps d'exécution du calcul de l'écoulement de puissance surtout pour les grands réseaux. Par contre, elle nécessite une très grande mémoire de stockage[1].

Les expressions des puissances actives et réactives de chaque noeud i du réseau peuvent se mettre sous la forme ci-dessous :

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| |\cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im})| \\ Q_i &= - \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| |\cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im})| \end{aligned} \right\} i = 1,2 \dots n \quad (I.25)$$

Avec :

$i = 1$: Représente le noeud de référence

n : Nombre de noeuds

i : Numéro du noeud

Après développement de P_i et Q_i en série de TAYLOR autour de la première approximation :

$$\left. \begin{aligned} P_i &= P_i^{(0)} + \dots \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} \right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V|_2} \right)^{(0)} \Delta |V|_2^{(0)} + \dots \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V|_2} \right)^{(0)} \Delta |V|_2^{(0)} \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_2} \right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} \\ Q_i &= Q_i^{(0)} + \dots \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \right)^{(0)} \Delta \delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_2} \right)^{(0)} \Delta |V|_2^{(0)} + \dots \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_2} \right)^{(0)} \Delta |V|_2^{(0)} \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2} \right)^{(0)} \Delta \delta_2^{(0)} \end{aligned} \right\} (I.26)$$

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

Avec

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_i^{(0)} &= P_i - (P_i)^{(0)} \\ \Delta Q_i^{(0)} &= Q_i - (Q_i)^{(0)} \end{aligned} \right\} \quad (I.27)$$

Les deux systèmes d'équation (I.27) et (I.28) donnent :

$$\begin{bmatrix} P_i^{(0)} \\ \vdots \\ (\Delta P_n)^{(0)} \\ \vdots \\ Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V|_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V|_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V|_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V|_n}\right)^{(0)} \\ \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V|_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V|_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V|_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V|_n}\right)^{(0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_n^{(0)} \\ \vdots \\ (\Delta \delta_n)^{(0)} \\ \Delta V_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (I.28)$$

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta |V|^{(0)} \end{bmatrix} \quad (I.29)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta^{(0)} \\ \Delta |V|^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \quad (I.30)$$

On rappelle que

$$\Delta \delta^{(k)} = \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^{(k)} \quad (I.31)$$

$$\Delta|V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k+1)} - |V_i|^{(k)} \quad (I.32)$$

L'adaptation (I.31) avec (I.33) donne :

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (I.33)$$

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} + [J^{(k)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad (I.34)$$

En remplaçant l'expression de l'équation (I.31) dans l'équation ci-dessus on aura :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} \quad (I.35)$$

Avec :

$$J = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \quad (I.36)$$

J1 , J2, J3 et J4 : sont les sous-matrices de Jacobienne

Détermination des sous-matrices de Jacobienne Ji

A partir du système (I.26), on peut déterminer les éléments de J.

Sous matrice J1 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|Y_{im}| |V_i| |V_m| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}), \quad i \neq m \quad (I.37)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n |Y_{im}| |V_i| |V_m| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}), \quad i \neq m \quad (I.38)$$

Sous matrice J2 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |Y_{im}| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \quad i \neq m \quad (I.39)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|Y_{im}| |V_m| \cos(\theta_m) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n |Y_{im}| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}), \quad i \neq m \quad (I.40)$$

Sous matrice J3 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -|Y_{im}| |V_i| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}), \quad i \neq m \quad (I.41)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n |Y_{im}| |V_i| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}), \quad i \neq m \quad (I.42)$$

Sous matrice J4:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |Y_{im}| |V_m| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \quad i \neq m \quad (I.43)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n |Y_{im}| |V_i| |V_m| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) - 2|Y_{im}| |V_i| \sin(\theta_m), \quad i \neq m \quad (I.44)$$

Les étapes de calcul

- 1- A partir des données du système, on prend la matrice d'admittance bus Y_{bus} .
- 2- On estime les valeurs initiales $|V_i|^{(0)}$ et $\delta_i^{(0)}$ pour les noeuds de charge et $\delta_i^{(0)}$ pour les noeuds de contrôle.
- 3- On calcule P_i, Q_i qui nous donne $\Delta P, \Delta Q$.
- 4- Formation de la matrice Jacobienne J.
- 5- On trouve l'inverse de Jacobienne.
- 6- On calcule :

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (I.45)$$

On obtient:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (I.46)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + |\Delta V_i^{(k)}| \quad (I.47)$$

7-Le processus se répète jusqu'à ce que la tolérance suivante se vérifie.

$$\max |\Delta P_i^k| \leq \varepsilon \quad (I.48)$$

$$\max |\Delta Q_i^k| \leq \varepsilon \quad (I.49)$$

8-On prend les résultats obtenus.

I.4.Puissance transmise par une ligne et intérêt de la compensation de la puissance réactive

Le transport de puissance réactive par les lignes sur de longues distances provoque des chutes de tension et des pertes. Par conséquent, il faut éviter ces transits par la production de la puissance réactive, autant que possible, à l'endroit où elle est consommée.

Considérant la figure I.6 qui représente une ligne électrique alimentant une charge(P+jQ). En admettant que la résistance de la ligne est très faible par rapport sa réactance, l'impédance Zc peut s'écrire: $Z_c = jX_c$.

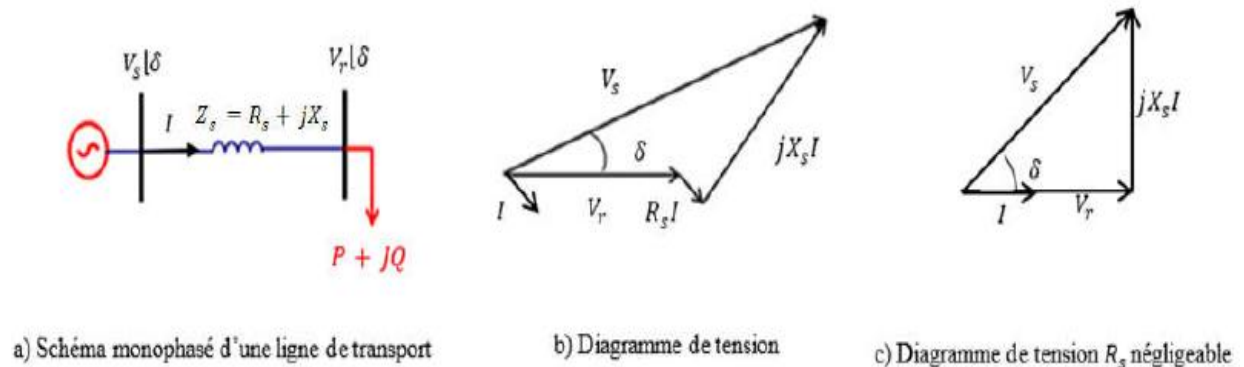


Figure I. 6: Ligne électrique alimentant une charge

En prenant la tension aux bornes de la charge comme référence des phases (figure I.6(b)) et en négligeant la résistance R_c , le courant sera en phase avec V_r (figure I.6 (c)). La puissance demandée par la charge sera donnée par les équations qui suivent :

$$P = \frac{V_s V_r}{X_s} \sin \delta \quad (I.51)$$

$$Q = \frac{V_s V_r}{X_s} \cos \delta - \frac{V_r^2}{X_s} \quad (I.52)$$

D'après le diagramme de la (figure I.6 (c)), la tension au jeu de barres côté charge est donnée par :

En remplaçant cette expression dans l'équation (1.52) en aura :

$$P = \frac{V_r^2}{X_s} \sin \delta \cos \delta = \frac{V_s^2}{2X_s} \sin 2 \delta \quad (I.54)$$

D'après cette équation, on ne peut transporter qu'une puissance maximale pour un angle $\delta = 45^\circ$ égale à :

$$P_{\max} = \frac{V_s^2}{2X_s} \quad (I.55)$$

Maintenant, si des précautions ont été prises pour maintenir la tension V_r égale à V_c , la puissance maximale qu'on peut transmettre à la charge dans ce cas sera doublée :

I.4.1 Moyens de compensation de la puissance réactive

+ Compensateur synchrone

Les compensateurs synchrones sont des machines tournantes qui ne fournissent aucune puissance active, mais qui peuvent suivant qu'elles soient sous ou surexcitées, fournir ou absorber de la puissance réactive [7].

+ Condensateurs

Ils ont pour rôle de fournir une partie de l'énergie réactive consommée par les charges dans le réseau. On distingue deux types [7] :

- + Des batteries de condensateurs HT, raccordées aux jeux de barres HT des postes THT/HT. Elles sont essentiellement destinées à compenser les pertes réactives sur les réseaux HT et THT.

- + Des batteries de condensateurs MT, raccordées aux jeux de barres MT des postes HT/MT ou THT/MT. Ces batteries servent à compenser l'appel global de l'énergie réactive des réseaux de distribution aux réseaux de transport. Elles sont localisées et dimensionnées individuellement en fonction du réglage de tension.

+ Inductances

Elles sont utilisées pour compenser l'énergie réactive fournie en heures creuses par les lignes à très haute tension ou par les câbles. Elles sont soit directement raccordées au réseau, soit branchées sur les tertiaires des transformateurs. Par conséquent, elles permettent une limitation des surtensions dans le réseau [8].

+ Compensateurs statiques

Ils sont constitués par l'ensemble de condensateurs et d'inductances commandées par thyristors, montés en tête-bêche dans chaque phase. La puissance réactive absorbée par l'inductance varie en contrôlant la valeur efficace du courant qui la traverse par action sur l'angle d'amorçage des thyristors[7].

I.5.Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons vu l'objectif de l'analyse de l'écoulement de puissance ainsi que les méthodes de résolution de ce problème puis on a vu l'importance de la compensation de puissance réactive ainsi que leurs dispositifs.

Nous avons aussi présenté un aperçu global sur les nouveaux dispositifs de contrôle et de commande des réseaux électriques appelés FACTS comme le SVC, STATCOM, TCSC, SSSC, UPFC. Ces systèmes améliorent le transit de puissance dans les lignes et la stabilité du réseau. Grace à la grande rapidité de réaction des contrôleur d'électronique constituants les FACTS, ces dernier sont caractérisés par une grande fiabilité

En prenant la tension aux bornes de la charge comme référence des phases (figure I.6(b)) et en négligeant la résistance R_c , le courant sera en phase avec V_r (figure I.6 (c)).

La puissance demandée par la charge sera donnée par les équations qui suivent :

$$S_t = P + jQ = V_r I_r^* \text{ avc } I_r = \frac{V_s - V_r}{Z_s} \quad (I.50)$$

$$P = \frac{V_s V_r}{X_s} \sin \delta \quad (I.51)$$

$$Q = \frac{V_s V_r}{X_s} \cos \delta - \frac{V_r^2}{X_s} \quad (I.52)$$

D'après le diagramme de la (figure I.6 (c)), la tension au jeu de barres côté charge est donnée par :

$$V_r = V_s \cos \delta \quad (I.53)$$

En remplaçant cette expression dans l'équation (1.52) en aura :

$$P = \frac{V_r^2}{X_s} \sin \delta \cos \delta = \frac{V_s^2}{2X_s} \sin 2\delta \quad (I.54)$$

D'après cette équation, on ne peut transporter qu'une puissance maximale pour un angle $\delta = 45^\circ$ égale à :

$$P_{\max} = \frac{V_s^2}{2X_s} \quad (I.55)$$

Maintenant, si des précautions ont été prises pour maintenir la tension V_r égale à V_c , la puissance maximale qu'on peut transmettre à la charge dans ce cas sera doublée :

$$P_{\max} = \frac{V_s^2}{X_s} \quad (I.56)$$

Chapitre 2

Chapitre 2

system FACTS

Chapitre II *system FACTS*

II.1. Introduction :

Avec le développement technologique et industriel que vit le monde entier la demande d'énergie électrique est en augmentation continue et sans cesse. Pour satisfaire ces besoins et acheminer cette énergie aux points de consommation dispersés sur un large espace géographique ; les réseaux électriques, ayant des capacités de transit limitées à cause des limites thermiques des lignes, doivent s'élargir et de nouvelles lignes d'extension seront ajoutées [9].

Les problèmes des réseaux énoncés précédemment devenant plus présents d'année en année, l'**EPRI** (Electric Power Research Institute), qui représente un consortium de recherche sur les réseaux électriques et regroupant plusieurs compagnies d'électricité des Etats Unis et d'ailleurs, a lancé en 1988 le concept **FACTS** (Flexible AC Transmission System). C'est un projet à long terme qui vise à rendre l'exploitation des réseaux plus "flexibles"[9][10].

Aussi ces réseaux électriques de taille importantes seront confrontés par divers problèmes de fonctionnement à cause du contrôle traditionnel utilisant des systèmes de commande électromécaniques de temps de réponse lent par rapport à ces nouveaux systèmes **FACTS** à base d'interrupteurs statiques et de court temps de réponse (moins d'une seconde).

Aujourd'hui cette technologie **FACTS** s'impose pour les systèmes énergétiques en augmentant leurs capacités de transport, en améliorant le contrôle des paramètres de ces derniers donc leur assurer une flexibilité du transfert de l'énergie et améliorer sa stabilité[11].

II.2. Définition de l'acronyme « FACTS » :

D'après l'**IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers), **FACTS** qui est l'abréviation de «Flexible Alternating Current Transmission Systems» est défini comme suit: « Les systèmes de transmission en courant alternatif incorporant des contrôleurs à base d'électronique de puissance et autres contrôleurs statiques afin d'améliorer la contrôlabilité des réseaux électriques ainsi que la capacité de transfert des lignes électriques »[11].

La technologie **FACTS** n'est pas limitée en un seul dispositif mais elle regroupe une collection de dispositifs à base de l'électronique de puissance implantés dans les réseaux électriques afin de mieux contrôler le flux de puissance et augmenter la capacité de transit de

leurs lignes. Par action de contrôle rapide de ces systèmes sur l'ensemble des paramètres du réseau: (tension, impédance, déphasage ...etc.)[12].

Ils permettent d'améliorer les marges de stabilité et assurer **une flexibilité de transmission de l'énergie**: l'aptitude d'accommoder aux changements du système énergétique et aux conditions de fonctionnement en maintenant l'état stable et des suffisantes marges de stabilité transitoire[11–13].

II.3. Classification des dispositifs FACTS [14–15]:

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

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

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

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

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

1. Selon le type de Raccordement sur le réseau (Connexion) ;
2. Selon le mode de Commutation ;
3. Selon la Fréquences de Commutation ;
4. Selon le mode de Stockage d'énergie ;
5. Selon le mode de Connexion au Port DC.

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

- ❖ Les dispositifs shunt connectés en parallèle dans les postes du réseau.

- ❖ Les dispositifs séries insérés en série avec les lignes de transport.
- ❖ Les dispositifs combinés série-parallèle qui recourent simultanément aux deux couplages.

II.4. Différentes catégories des FACTS :

Le tableau de la figure(II.1) représente les grandes catégories des dispositifs de contrôle des réseaux électriques; la colonne sur la gauche contient les systèmes conventionnels constitués de composants de base (R L C). Les dispositifs FACTS contiennent également les mêmes composants mais rapidement commandés avec des interrupteurs statiques et convertisseurs de l'électronique de puissance[11][12][14][16].

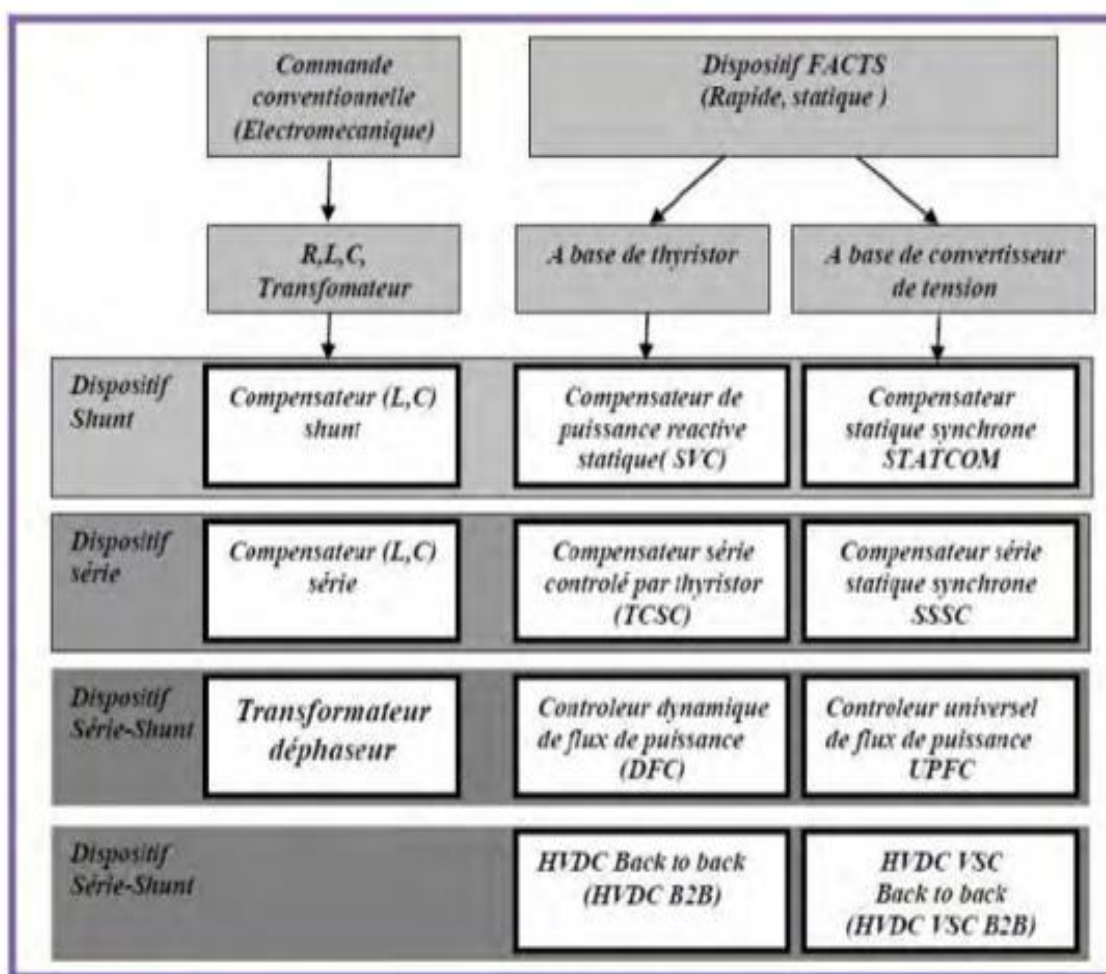


Figure II.1 : différentes catégories des dispositifs de contrôle des réseaux électriques[12].

La colonne gauche des systèmes FACTS présente les contrôleurs à base des thyristors ou bien à des convertisseurs à thyristor tel que le SVC et le TCSC qui sont connus depuis plusieurs dizaines d'années à titre de compensateurs shunt et série respectivement et qui ont prouvé leur fiabilité dans le contrôle des réseaux. Les dispositifs dans la colonne de droite sont la technologie la plus avancée des FACTS avec des convertisseurs de sources de

tension à base des interrupteurs statiques sophistiqués IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors).

Ou bien les IGCT (Insulated Gate Commutated Thyristors) tel que le STATCOM, le SSSC et l'UPFC. Ces convertisseurs de source de tension fournissent ou injectent une tension totalement contrôlable en amplitude et en phase en série ou en parallèle dans le réseau selon les exigences de contrôle. Chaque élément de ces colonnes peut être structuré selon sa connexion au réseau[11][14][16].

II.5. Les principaux dispositifs FACTS :

La famille des dispositifs FACTS est grande. Parmi ceux-ci, on peut distinguer :

- Compensateurs séries.
- Compensateurs shunts.
- Compensateurs hybrides (série-shunt).

II.5.1. Dispositifs séries

Ces compensateurs sont connectés en série avec le réseau comme une impédance variable (inductive ou capacitive) ou une source de tension variable. Utilisés pour la compensation série de la puissance réactive et par leur influence sur l'impédance effective des lignes ils interviennent dans le contrôle du flux de puissance et la stabilité de ce dernier. En général ces dispositifs séries injectent une tension en série avec la ligne de transmission[11][13].

Les FACTS dans la compensation série modifient l'impédance de la ligne : la réactance (X) de la ligne est diminuée, donc augmenter la puissance active transmissible. Cependant la puissance réactive doit être plus fournie[14][17].

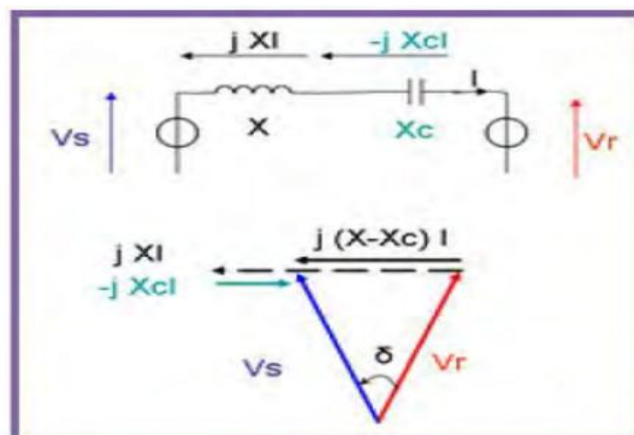


Figure II.2 : Compensation série.

Parmi ces compensateurs, en trouve :

❖ TCSC (Thyristor controlled series capacitor):

Le compensateur série commandé par thyristor TCSC(Thyristor controlled series capacitor) est composé d'une inductance en série avec un gradateur à thyristors, le tout en parallèle avec un condensateur[10][18].

Pour augmenter la puissance transitée par une ligne triphasée, on doit ajouter un condensateur de capacité fixe en série dans chaque phase de la ligne. Ce qui a pour effet de réduire la réactance inductive de celle-ci. Le condensateur série commandé par thyristors permet de faire varier le transit de la puissance en agissant sur la nouvelle valeur de la réactance de la ligne[19].

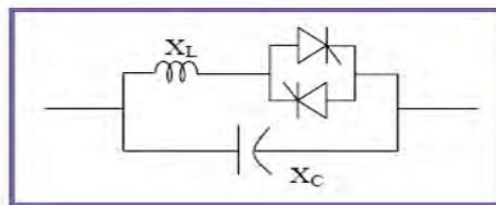


Figure II.3 :Structure du TCSC.

Les principales applications des condensateurs séries commandé par thyristors sont [19]:

- L'augmentation du transit de la puissance dans les lignes ;
- La compensation du déséquilibre des courants de charge ;
- L'amélioration de la stabilité dynamique ;
- L'amortissement des oscillations de puissance ;
- L'interconnexion des réseaux ;
- La stabilisation de la tension ;

❖ TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor)

Le compensateur série commandé par thyristor TSSC est le premier qui apparaît dans la famille des compensateurs série[20]. La différence entre le (TSSC) et le TCSC est que l'angle d'amorçage est soit de '90' soit de '180'[10][18].

❖ TCSR (Thyristor Controlled Series Reactor)

Le TCSR est un compensateur inductif qui se compose d'une inductance en parallèle avec une autre inductance commandée par thyristors afin de fournir une réactance inductive série variable[14][18].

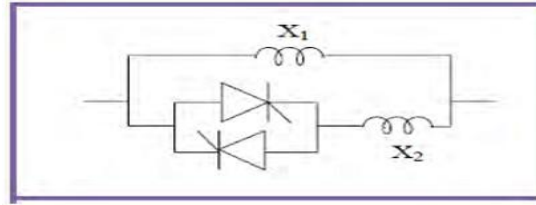


Figure II.4 :Structure du TCSR.

II.5.2. Dispositifs shunts (parallèles) :

Ils consistent en une impédance variable, source variable ou une combinaison des deux. Ils injectent un courant dans le réseau à travers le point de connexion. Ils sont principalement pour la compensation de la puissance réactive et par conséquent contrôler de tension des nœuds[14]. Le courant réactif est injecté dans la ligne pour maintenir la magnitude du voltage. La puissance active transmissible est augmentée mais la puissance réactive sera plus fournie[17].

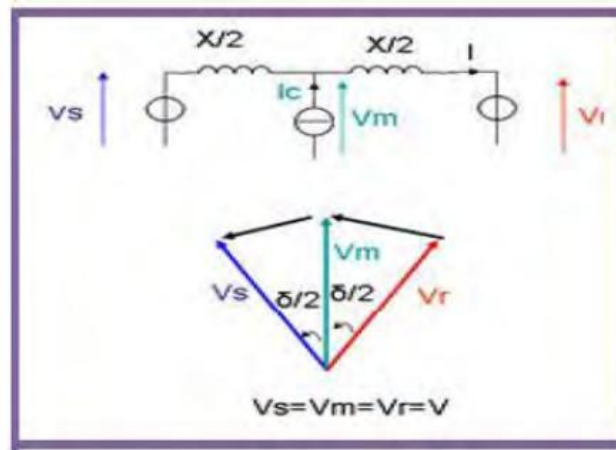


Figure II.6:Compensateur Shunt.

- Il s'agit de:

❖ TCR (Thyristor Controlled Reactor) ou TSR (Thyristor Switched Reactor)

Dans le TCR(RCT: Réactance Commandées par Thyristors), le circuit est composé d'une réactance placé en série avec deux thyristors montés en antiparallèle. La valeur de l'inductance est continuellement changée par l'amorçage des thyristors[22][21].

Un thyristor se met à conduire quand un signal de gâchette lui est envoyé. Et la tension à ses bornes est positive, il s'arrête de conduire lorsque le courant qui le traverse s'annule. Un dispositif TCR seul n'est pas suffisant pour pouvoir compenser la puissance dans un réseau, car il ne dispose pas de source de puissance réactive. Généralement on dispose avec un TCR des bancs de condensateurs comme source de puissance réactive, et le TCR contrôle cette source de puissance[22][23].

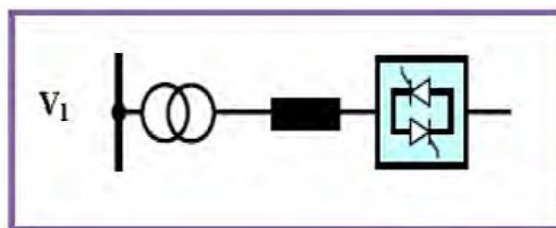


Figure II.7 :Structure du TCR (TSR).

❖ TSC (Thyristor Switched Capacitor)

Dans le TSC (CCT: Condensateurs Commandés par Thyristor), le circuit est composé d'un condensateur placé en série avec deux thyristors montés en antiparallèle. Les thyristors fonctionnent en pleine conduction[22].

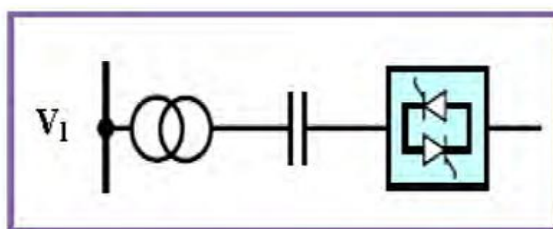


Figure II.8 :Structure du TSC.

❖ SVC (Static Var Compensator)

L'association des dispositifs TCR, TSC, bancs de capacités fixes et filtres d'harmoniques constitue le compensateur plus connu sous le nom de SVC (compensateur statique de puissance réactive) (CSPR)[14][18].

Pour augmenter ou diminuer la tension d'une ligne de transport, on peut brancher un condensateur ou une inductance shunt qui génère ou absorbe de la puissance réactive. Cette manœuvre peut se faire automatiquement en utilisant un compensateur statique.

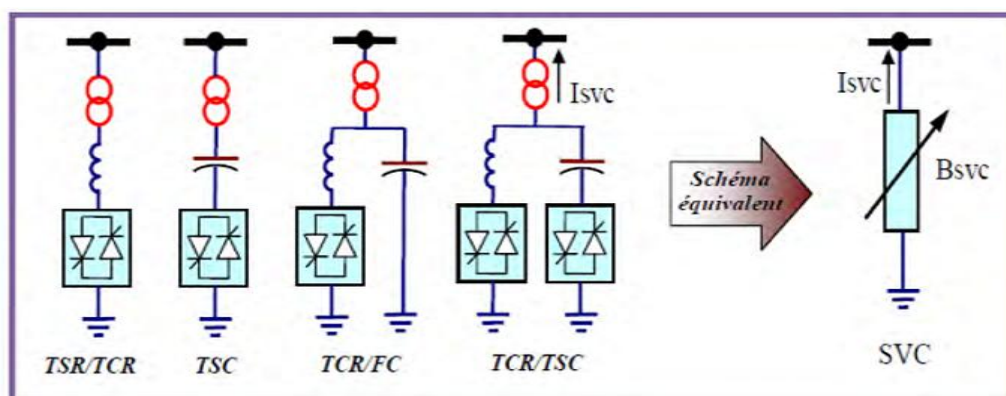


Figure II.9 :Structure du SVC.

- Les principales applications du compensateur statique de puissance réactive sont[19] :
 - ✓ Soutient de la tension en régime permanent ;

- ✓ Compensation rapide de la puissance réactive ;
- ✓ Stabilisation statique et transitoire de la tension ;
- ✓ Equilibrage dynamique des charges ;

II.5.3. Dispositifs hybrides (série-shunt) :

C'est une combinaison des dispositifs séries et shunts commandé d'une manière coordonné afin d'accomplir un contrôle prédéfini. Ils permettent un contrôle multi variables, ils servent à contrôler le flux de puissance active et réactive, la tension et l'angle de transport de l'énergie.

❖ UPFC (Unified Power Flow Controller)

Le contrôleur de transit de puissance universel UPFC est l'union de deux compensateurs, l'un est un compensateur série et l'autre est un compensateur parallèle. Il est capable de contrôler simultanément et indépendamment la puissance active et la puissance réactive[14].

L'UPFC est constitué de deux onduleurs de tension triphasés, l'un est connecté en parallèle réseau par l'intermédiaire d'un transformateur et l'autre est connecté en série à travers un deuxième transformateur. Les deux onduleurs sont interconnectés par un bus continu représenté par le condensateur[14].

Le premier concept a été présenté par Gyugyi en 1999. L'UPFC permet à la fois le contrôle de la puissance active et celui de la tension de la ligne, il 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.

Dans la Figure II.13 l'onduleur(1) est utilisé à travers la liaison continue pour fournir la puissance active nécessaire à l'onduleur(2). L'onduleur(2) injecte la tension(V_b) et fournit les puissances actives et réactives nécessaires à la compensation série.

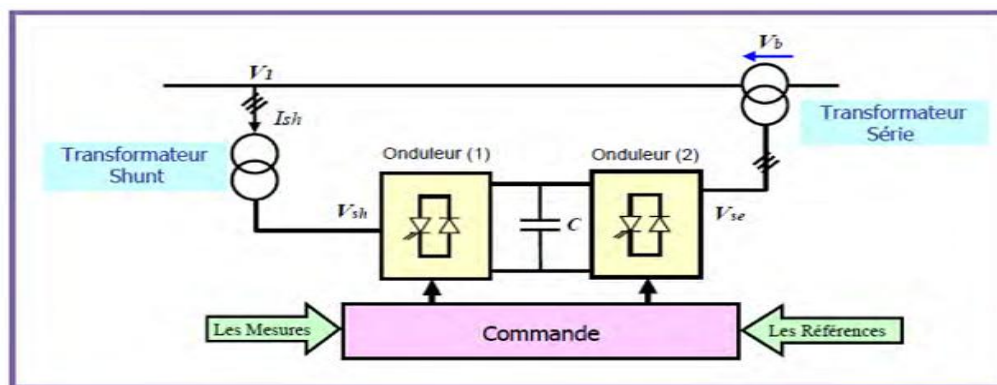


Figure II.14 :Structure de l'UPFC.

L'UPFC offre une flexibilité énorme qui permet le contrôle de la tension, de l'angle de transport et de l'impédance de la ligne par un seul dispositif comprenant seulement deux onduleurs de tension triphasés[22][24].

- Les principales applications du contrôleur de puissance universel sont [15][19]:

La commande des transits de puissances sur les lignes ;

L'amélioration de la stabilité des réseaux électriques ;

L'exploitation à pleine capacité des équipements et des lignes ;

L'interconnexion des réseaux ;

Le réglage de la tension ;

L'amélioration des flux de puissances active et réactive ;

La limitation des courants de court-circuit ;

L'amortissement des oscillations de puissance ;

II.6.Synthèse :

Le tableau (II.1) résume d'une manière simple l'impact de l'utilisation de chaque dispositif FACTS, à la résolution des différents problèmes qui entravent le bon fonctionnement du réseau électrique.

Tableau II.1 :Application des FACTS à la résolution des problèmes dans le réseau[18].

	Contrôle de charge	Contrôle de tension	Stabilité transitoire	Amplitude des oscillation
SVCSTATCOM	*	***	*	**
TCSC	**	*	***	**
UPFC	***	***	***	***

Influence

Petite * . Moyenne ** . Forte ***

II.7.Apports et avantages des dispositifs FACTS :

- Les FACTS sont utilisés principalement dans les deux contextes suivants [20]:

- Le maintien de la tension à un niveau acceptable en fournissant de la puissance réactive lorsque la charge est élevée et que la tension est trop basse, alors qu'à l'inverse ils en absorbant si la tension est trop élevée ;

- Le contrôle des transits de puissances de manière à réduire voire supprimé les surcharges dans les lignes ou les transformateurs. Ils agissent alors en contrôlant la réactance des lignes et en ajustant les déphasages.

- Par cette action les contrôleurs FACTS permettent dans un système énergétique d'obtenir un sinon plusieurs des bénéfiques suivants [11]:

- Contrôle du flux de puissance qui est la principale fonction des dispositifs FACTS.

Ce contrôle doit être réalisé selon un cahier de charge prédéfini pour satisfaire les besoins des consommateurs.

- Améliorer la stabilité dynamique du système : entre autre des fonctions des FACTS l'amélioration de la stabilité transitoire, atténuation des oscillations et le contrôle de la stabilité des tensions.
- Contrôle des tensions dans les nœuds.
- Augmenter les capacités de charge des lignes vers leurs limites thermiques.
- Contrôle de la puissance réactive : Réduction de l'écoulement de la puissance réactive, donc permettre aux lignes de transmettre plus d'énergies active et par conséquence réduire les pertes de transmission.
- Amélioration de la qualité d'énergie.
- Augmenter la capacité de transport de la puissance active.

II.8.Applications pratiques des dispositifs FACTS en exploitation :

Les systèmes FACTS sont habituellement connus comme nouvelle technologie, mais des centaines d'installations dans le monde, plus particulièrement du SVC depuis 1970 avec une puissance totale installée de 90.000 MVAR, prouvent l'acceptation de ce genre de technologie. Le Tableau II.2 qui montre des chiffres approximatifs des dispositifs FACTS installés dans le monde avec les puissances totales installées [11][12].

Tableau II.2 : Dispositifs FACTS installés dans le monde.

Type	Nombre	Puissance installée (MVA)
SVC	600	90.000
STATCOM	15	1.200
TCSC	10	2.000
HVDC B2B	41	14.000
UPFC	2-3	250

A ce jour, plusieurs centaines d'installations FACTS sont exploitées ou en cours de réalisation dans le monde. Un petit nombre de fabricants se partagent le marché. La majorité des dispositifs sont des compensateurs de puissance réactive de type SVC utilisés pour le maintien de la tension dans le réseau.

La grande majorité de ces dispositifs est placée dans le réseau pour accomplir une tâche bien précise et très locale. Rares sont les cas où plusieurs dispositifs peuvent interagir entre eux et nécessitent un contrôle coordonné.

II.9. Coût des dispositifs FACTS :

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

- Le coût d'une installation FACTS dépend principalement des facteurs tels que [20]:
 - ✓ Les performances requises.
 - ✓ La puissance de l'installation.
 - ✓ Le niveau de tension du système.
 - ✓ La technologie du semi-conducteur utilisé.

II.10. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une vue globale (overview) sur les dispositifs FACTS (leurs classification et différentes catégories) avec des schémas qui structurent chaque dispositifs de plus nous avons présenté quelques installations FACTS en exploitation dans le monde tel que le SVC, le STATCOM, le TCSC, etc. , et à la fin une petite discussion sur le plan économique des installations FACTS.

Dans notre étude nous avons choisi d'utiliser le SVC (*Static Var Compensator*) comme dispositif FACTS pour contrôler la tension et optimiser la puissance réactive dans un réseau de transport de l'énergie électrique.

Chapitre 3

Chapitre 3

Les Algorithmes génétiques

Chapitre III

Les Algorithmes génétiques

III.1 Introduction :

Les algorithmes génétiques fournissent des solutions aux problèmes n'ayant pas de solutions calculables en temps raisonnable de façon analytique ou algorithmique. Selon cette méthode, des milliers de solutions (génotypes) plus ou moins bonnes sont créés au hasard puis sont soumises à un procédé d'évaluation de la pertinence de la solution mimant l'évolution des espèces : les plus "adaptés", c'est-à-dire les solutions au problème qui sont les plus optimales survivent davantage que celles qui le sont moins et la population évolue par générations successives en croisant les meilleures solutions entre elles et en les faisant muter, puis en relançant ce procédé un certain nombre de fois afin d'essayer de tendre vers la solution optimale[25].

III.2. Définition :

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : **sélections, croisements, mutations**, etc. Ils appartiennent à la classe des algorithmes évolutionnaires. On peut dire que l'algorithme génétique est une méthode de programmation qui repose sur le principe de l'évolution pour effectuer la recherche d'une solution adéquate à un problème[26].

III.3. Terminologie :

- ✓ **Les chromosomes** : sont les éléments à partir desquels sont élaborées les solutions (mutation et croisement génétiques).
- ✓ **La population** : (génération) est l'ensemble des chromosomes.
- ✓ **La reproduction** : est l'étape de combinaison des chromosomes.

III.4. Principe :

Les algorithmes génétiques, afin de permettre la résolution de problèmes, se basent sur les différents principes décrits ci-dessus. De manière globale, on commence avec une population de base qui se compose le plus souvent de chaînes de caractères correspondant chacune à un chromosome. Nous reviendrons par la suite sur les différentes structures de données possibles (voir III.5.2.Codage...) mais nous retiendrons pour le moment l'utilisation du codage binaire (ex. : 0100110). Le contenu de cette population initiale est généré

aléatoirement. On attribue à chacune des solutions une note qui correspond à son adaptation au problème. Ensuite, on effectue une sélection au sein de cette population[26].

III.5. Présentation des Algorithmes Génétiques :

Le premier pas dans l'implantation des algorithmes génétiques est de créer une population d'individus initiaux. En effet, les algorithmes génétiques agissent sur une population d'individus, et non pas sur un individu isolé. Par analogie avec la biologie, chaque individu de la population est codé par un chromosome ou génotype. Une population est donc un ensemble de chromosomes. Chaque chromosome code un point de l'espace de recherche. L'efficacité de l'algorithme génétique va donc dépendre du choix du codage d'un chromosome[26].

III.5.1. Fonction d'Evaluation et Fonction Fitness :

La traduction algorithmique de l'adjectif faible et fort appliqué aux individus conduit à définir une fonction sélective (fonction fitness) qui permet d'associer une valeur à chaque individu de la population. Cette valeur est dite valeur sélective de l'individu. La fonction sélective f est souvent une transformation g de la fonction objective ($f(x)=g(o(x))$).

L'application des opérateurs génétiques sur des individus jugés par une fonction sélective particulière, permet d'explorer l'espace des solutions à la recherche d'un extremum.

Généralement, quand l'AG est appliqué, il est fait dans une manière qui implique les étapes suivantes [26]:

- ✓ Evaluer la fonction sélective de tous les individus dans la population.
- ✓ Créer une nouvelle population en exécutant des opérations telles que la sélection proportionnelle, le croisement, et la mutation sur les individus dont la fonction sélective a été juste mesurée.
- ✓ Abandonner l'ancienne population et répéter les mêmes étapes avec la nouvelle population

Pour calculer le coût d'un point de l'espace de recherche, on utilise une fonction d'évaluation. L'évaluation d'un individu ne dépend pas de celle des autres individus, le résultat fourni par la fonction d'évaluation va permettre de sélectionner ou de refuser un individu pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante : c'est le rôle de la fonction fitness. Cette méthode permet de s'assurer que les individus performants seront conservés, alors que les individus peu adaptés seront progressivement éliminés de la population[26].

III.5.2. Codage et Décodage des Variables :

Pour résoudre un problème il faut d'abord coder les paramètres, un gène correspond à une variable d'optimisation X_i , et un ensemble de gène correspond à un chromosome, un individu a un ou plusieurs chromosomes et une population c'est un ensemble d'individus. Dans l'AG les paramètres de la fonction objectif sont codés, généralement en binaire, et ce sont leurs codes qui sont utilisés au lieu des paramètres eux-mêmes. Le codage adopté pour représenter les variables est le codage binaire (0 et 1), par exemple un gène est un entier long (32 bits) : Un des avantages du codage binaire est que l'on peut ainsi facilement coder toutes sortes d'objets : des réels, des entiers, des valeurs booléennes, des chaînes de caractères... Cela nécessite simplement l'usage de fonctions de codage et décodage pour passer d'une représentation à l'autre[26].

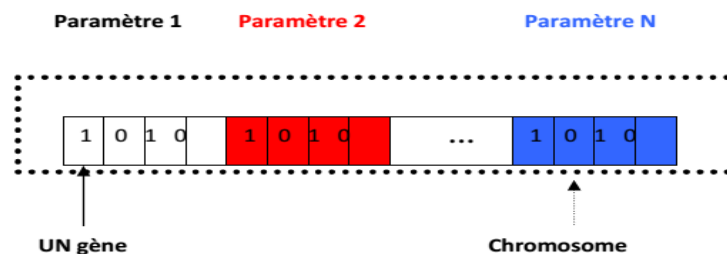


Figure III.1 : codage et décodage des variables.

II.5.3. Sélection des Individus pour la Reproduction :

La sélection est un processus qui consiste à choisir parmi tous les individus de la population ceux qui vont participer à la construction d'une nouvelle génération où ce choix est basé essentiellement sur les valeurs de la fonction d'adaptation de chaque individu. Un membre ayant une grande valeur de la fonction objectif aura plus de chance d'être sélectionné pour participer à la reproduction de la prochaine génération[26].

III.5.3.1. Les Différentes Méthodes de Sélection :

❖ Sélection par Roulette de Loterie :

Les parents sont sélectionnés en fonction de leur performance. Meilleur est le résultat codé par un chromosome, plus grandes est ses chances d'être sélectionné. Il faut imaginer une sorte de roulette de casino sur laquelle sont placés tous les chromosomes de la population, la place accordée à chacun des chromosomes étant en relation avec sa valeur d'évaluation. Cette roulette est représentée par la figure III.2.

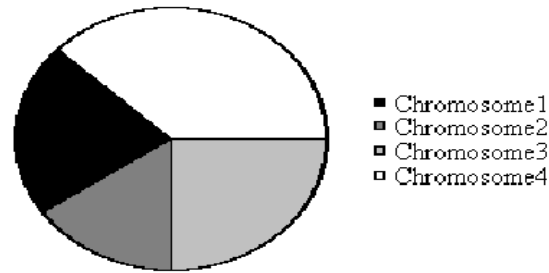


Figure III.2 :Exemple de sélection par roulette.

Ensuite, la bille est lancée et s'arrête sur un chromosome. Les meilleurs chromosomes peuvent ainsi être tirés plusieurs fois et les plus mauvais ne jamais être sélectionnés. Cela peut être simulé par l'algorithme suivant:

1. On calcule la somme S_1 de toutes les fonctions d'évaluation d'une population.
2. On génère un nombre "r" entre 0 et S_1 .
3. On calcule ensuite une somme S_2 des évaluations en s'arrêtant dès que r est dépassé.
4. Le dernier chromosome dont la fonction d'évaluation vient d'être ajoutée est sélectionné.

❖ *Sélection par rang :*

La sélection précédente rencontre des problèmes lorsque la valeur d'adaptation des chromosomes varie énormément. Si la meilleure fonction d'évaluation d'un chromosome représente **90%** de la roulette alors les autres chromosomes auront très peu de chance d'être sélectionnés et on arriverait à une stagnation de l'évolution.

La sélection par rang trie d'abord la population par fitness. Ensuite, chaque chromosome se voit associé un rang en fonction de sa position. Ainsi le plus mauvais chromosome aura le rang **1**, le suivant **2**, et ainsi de suite jusqu'au meilleur chromosome qui aura le rang **N** (pour une population de **N** chromosomes). La sélection par rang d'un chromosome est la même que par roulette, mais les proportions sont en relation avec le rang plutôt qu'avec la valeur de l'évaluation. Avec cette méthode de sélection, tous les chromosomes ont une chance d'être sélectionnés. Cependant, elle conduit à une convergence plus lente vers la bonne solution. Ceci est dû au fait que les meilleurs chromosomes ne diffèrent pas énormément des plus mauvais.

❖ *Sélection statique :*

Ce n'est pas une méthode particulière de sélection des chromosomes parents. L'idée principale est qu'une grande partie de la population puisse survivre à la prochaine génération. L'algorithme génétique marche alors de la manière suivante.

A chaque génération sont sélectionnés quelques chromosomes (parmi ceux qui ont le meilleur coût) pour créer des chromosomes fils. Ensuite les chromosomes les plus mauvais sont retirés et remplacés par les nouveaux. Le reste de la population survie à la nouvelle génération[26].

❖ *Sélection par tournoi :*

Sur une population de chromosomes, on forme pair de chromosomes. Dans les paramètres de l'AG, on détermine une probabilité de victoire du plus fort. Cette probabilité représente la chance qu'a le meilleur chromosome de chaque paire d'être sélectionné. Cette probabilité doit être grande (entre 70% et 100%). A partir des pairs, on détermine ainsi individus pour la reproduction[26].

❖ *Elitisme :*

À la création d'une nouvelle population, il y a de grandes chances que les meilleurs chromosomes soient perdus après les opérations d'hybridation et de mutation. Pour éviter cela, on utilise la méthode d'élitisme. Elle consiste à copier un ou plusieurs des meilleurs chromosomes dans la nouvelle génération. Ensuite, on génère le reste de la population selon l'algorithme de reproduction usuel. Cette méthode améliore considérablement les algorithmes génétiques, car elle permet de ne pas perdre les meilleures solutions[26].

III.5.4. La Recombinaison Génétique :

Dans la recombinaison génétique on distingue deux opérateurs principaux : Le croisement et la mutation. Ces deux opérateurs sont la base de la progression des algorithmes génétiques[26].

III.5.4.1. Croisement :

Le phénomène de croisement est une propriété naturelle de l'ADN, et c'est analogiquement qu'on fait les opérations de croisement dans les AG. A partir de deux individus, on obtient deux nouveaux individus (enfants) qui héritent certaines caractéristiques de leurs parents. Le croisement sélectionne des gènes par mis deux individus appelés parents. A partir de ces gènes sont générés les enfants. La probabilité de croisement représente la fréquence à laquelle les croisements sont appliqués[26].

- ✓ S'il n'y a pas de croisement, les fils sont l'exacte copie des parents.
- ✓ S'il y a croisement, les fils sont composés d'une partie de chacun de leurs parents.
- ✓ Si la probabilité est de 0%, la nouvelle génération est la copie de la précédente.
- ✓ Si la probabilité est fixée à 100%, tous les descendants sont générés par croisement.

Le croisement est mis en place pour que les nouveaux chromosomes gardent la meilleure partie des chromosomes anciens. Ceci dans le but d'obtenir, peut-être, de meilleurs chromosomes. Néanmoins, il est quand même important qu'une partie de la population survive à la nouvelle génération. Ils existent deux types de croisements [26]:

A. Croisement en un Point :

Pour chaque couple, on choisit au hasard un point de croisement (figure III.3). Le croisement s'effectue directement au niveau binaire, et non au niveau des gènes. Un croisement peut être coupé au milieu d'un gène.

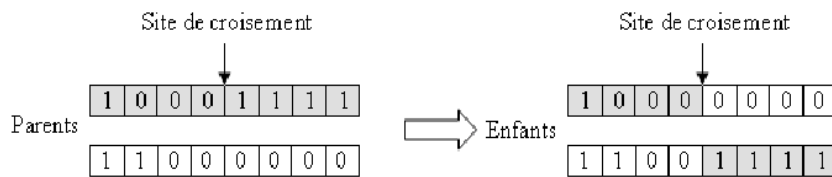


Figure III.3 : Représentation schématique du croisement en un point.

B. Croisement en deux Points :

On choisit au hasard deux points de croisements successifs. Cet opérateur est généralement considéré comme plus efficace que le précédent.

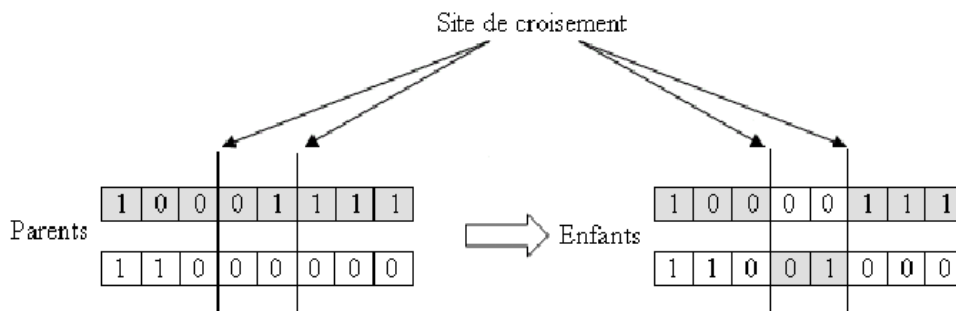


Figure III.4 : Représentation schématique du croisement en deux points.

III.5.4.2. Mutation :

La mutation est traditionnellement considérée comme un opérateur marginal bien qu'elle confère en quelque sorte aux algorithmes génétiques la propriété d'ergodicité (c-à-d. tous les points de l'espace de recherche peuvent être atteints). Cet opérateur a un double rôle [26]:

- ✓ celui d'effectuer une recherche locale et/ou de sortir d'une trappe (recherche éloignée).
- ✓ Cet opérateur ne crée généralement pas de meilleurs individus, mais il évite l'établissement de populations uniformes incapables d'évoluer. La version de base de la mutation, dite mutation simple, consiste à modifier aléatoirement, avec une probabilité P_m faible, la valeur d'un composant de l'individu.

Dans le cas du codage binaire, chaque bit $a_i \in \{0; 1\}$ est remplacé selon une probabilité P_m par son inverse $a_{it} = 1 - a_i$. C'est ce qu'illustre la figure III.5. Tout comme plusieurs lieux de croisement peuvent être possibles, nous pouvons très bien admettre qu'une même chaîne puisse subir plusieurs mutations.

La mutation génère des «erreurs» de recopie, afin de créer un nouvel individu qui n'existait pas auparavant. Le but est d'éviter à l'AG de converger vers des extrema locaux de la fonction et de permettre de créer des éléments originaux. Si elle génère un individu plus faible l'individu est éliminé. La probabilité de mutation représente la fréquence à laquelle les gènes d'un chromosome sont mutés.

- ✓ S'il n'y a pas de mutation, le fils est inséré dans la nouvelle population sans changement.
- ✓ Si la mutation est appliquée, une partie du chromosome est changée.

La mutation est prévue pour éviter au AG de s'enliser dans des optima locaux. Mais si elle est trop fréquente, l'AG est orienté vers une recherche aléatoire de la bonne solution.

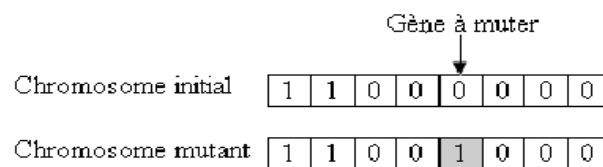


Figure III.5 : Représentation schématique de la mutation simple.

III.6. Les avantages des algorithmes génétiques :

A noter qu'en des qualités des algorithmes génétiques est une recherche balançant efficacement entre l'exploitation des résultats obtenus et l'exploration hasardeuse de nouveaux candidats, parmi les principaux avantages des algorithmes génétiques, nous pouvons signaler[27]:

1. La recherche d'un optimum s'effectue à partir d'une population et non d'un point unique. Ce parallélisme implicite permet de proposer plusieurs solutions différentes, en fin d'exécution.
2. Il n'est pas nécessaire de savoir formaliser le problème. Seul l'évaluation de la solution doit pouvoir être faite.
3. Les algorithmes génétiques utilisent des règles de transition probabilistes, et non déterministes, ce qui permet de s'extraire des optima locaux.

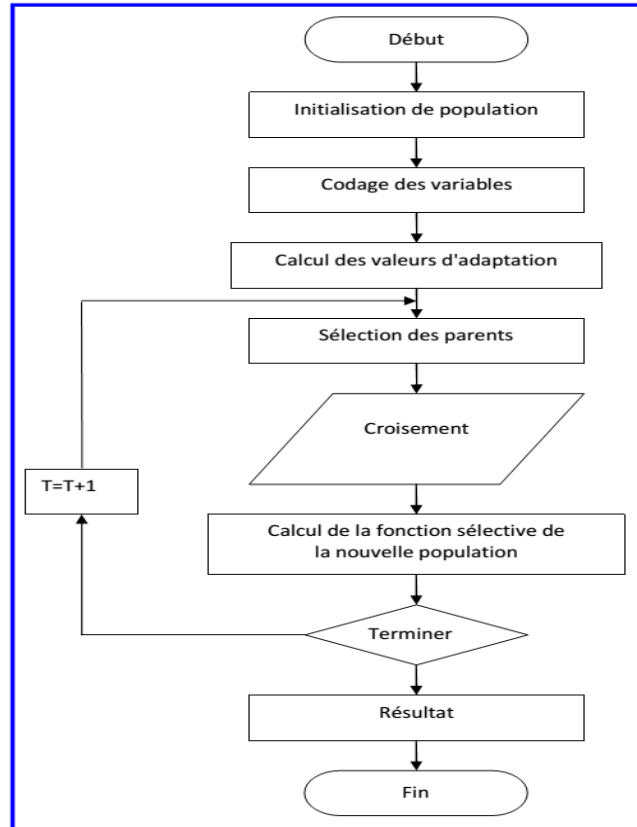


Figure III.6 : Organigramme d'un algorithme génétique.

III.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté en détail les mécanismes d'un algorithme génétique. Les algorithmes génétiques constituent une famille d'algorithmes heuristiques permettant de rechercher l'optimum ou un quasi-optimum des fonctions objectives, sur lesquelles il n'est besoin de faire aucune hypothèse particulière, notamment en ce qui concerne leur dérivabilité. Pour mettre en œuvre avec succès un algorithme génétique simple, il faut choisir avec soin les trois paramètres suivants :

La probabilité de croisement P_c , la probabilité de mutation P_m , et la taille de la population L . par ailleurs, il faut choisir entre divers mécanismes de sélection, de recombinaison et de mutation. Des essais pratiques se révèlent indispensables pour optimiser les valeurs retenues en fonction du problème à résoudre et pour montrer que les opérateurs choisis donnent des résultats meilleurs

Dans le chapitre qui suit on donne une application des algorithmes génétiques résoudre le problème de placement optimal de FACTS dans un réseau de puissance, afin de l'optimisation de chute de tension ΔU et perte active P_L et le cout d l'installation SVC Coût SVC [25].

Chapitre 4



*Application et résultats de
simulation*

Chapitre IV

Application et résultats de simulation

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons procéder à l'implantation de dispositif SVC dans un réseau électrique et voir leur influence sur la stabilité de tension et sur les pertes actives. Dans notre cas, Une méta-heuristique de recherche globale est adoptée pour résoudre le problème de placement optimal de FACTS dans un réseau de puissance. Pour des raisons de simplification, les charges dans le réseau sont supposées fixes sur tout l'horizon de planification. Par conséquent, nous devons prendre en considération le choix de l'emplacement optimal offrant le meilleur rendement.

Le présent chapitre présente l'approche d'optimisation adoptée ainsi le programme réalisé sur la plate-forme MATLAB pour la résolution du problème de placement de SVC. Des simulations sont ensuite faite sur les réseaux types test IEEE-6 et IEEE-30 jeux de barres et les résultats sont discutés.

IV.2.Applications:

Les tests seront effectués sur des réseaux électriques de petites et moyennes échelles. Ces algorithmes ont été développés dans l'environnement MATLAB et exécutés par un microprocesseur Pentium (r) avec 2 GB de RAM et CPU N2840 , 2.16 GHz.

La méthode adoptée pour l'optimisation du placement de SVC dans ce projet de mémoire, se base sur l'Algorithme Génétique à codage binaire et la méthode Newton-Raphson pour le calcul du Load-Flow.

Cette méthode s'intéresse uniquement au régime permanent par l'évaluation du flux de puissance et du plan de tension du réseau de puissance sujet d'étude. Cela amène donc à comparer uniquement les bénéfices des SVC au régime permanent.

Les programmes réalisés sur la plate-forme «MATLAB»,a pour but de trouver l'emplacement et les caractéristiques (Q_{min} , Q_{max}) optimaux d'un certain nombre de SVC à installer. Ceci est atteint par la génération d'une population initiale (aléatoire) de dispositifs SVC, puis l'évaluation de la fitness de chaque individu par le calcul de l'Optimal Power Flow avec la nouvelle configuration de FACTS installée. Le programme évolue d'une génération à

autre par les opérateurs génétiques (sélection, croisement, mutation), et retourne le meilleur individu trouvé (meilleure configuration de SVC)[28].

IV.2.1. Fonction d'objectif :

La fonction d'objectif est le critère permettant d'évaluer l'aptitude des solutions afin de déterminer la meilleure ou la solution optimale d'un problème d'optimisation donné. La fonction objectif adoptée dans cette partie est composée de :

- Coût d'installation de SVC Coût_{SVC} .
- Pertes par effet joule, P_L .
- Pénalités sur les surcharges, et sur les chutes et surtensions, Δu .

Ces trois paramètres devront être bien dosés pour avoir de bons résultats, donc la fonction objectif sera :

$$FF = \alpha * \text{Chutes et surtensions}(\Delta u) + \beta * \text{Coût d'installation de SVC} (\text{Coût}_{\text{SVC}}) + \gamma * \text{Pertes}(P_L)$$

α, β et γ : coefficients de poids.

D'après [29] la fonction de coût pour le SVC sont représentés comme suit :

$$\text{Coût}_{\text{SVC}} = 0.0003 Q_K^2 - 0.2691 Q_K + 188.22 (\$/\text{kVar})$$

IV.2.2. Algorithme [28]:

Début

Lecture de la base de données
 Lecture des paramètres de codage
 Génération de la population initiale
 Itération=1
Tant que (itération < itération_{max}) et (fitness) **faire**
 Calculer la fonction objectif pour chaque individu
 Sélection
 Croisement
 Mutation
fin tant que
 Retourner meilleur individu
 Affichage des résultats

fin

IV.3. Simulations :

IV.3.1. Le réseau de test IEEE-6 jeux de barres :

Ce réseau de «6» jeux de barres, «11» ligne électriques «3» charges et «3» générateurs au niveau des jeux de barres numéro 4,5 et 6 voir la Figure (IV.1).

La puissance demandée et la puissance de base sont respectivement , 283.4 MW et 100 MVA ,le détail de ce réseau (paramètres des lignes et jeux de barres) dans l'annexe A .

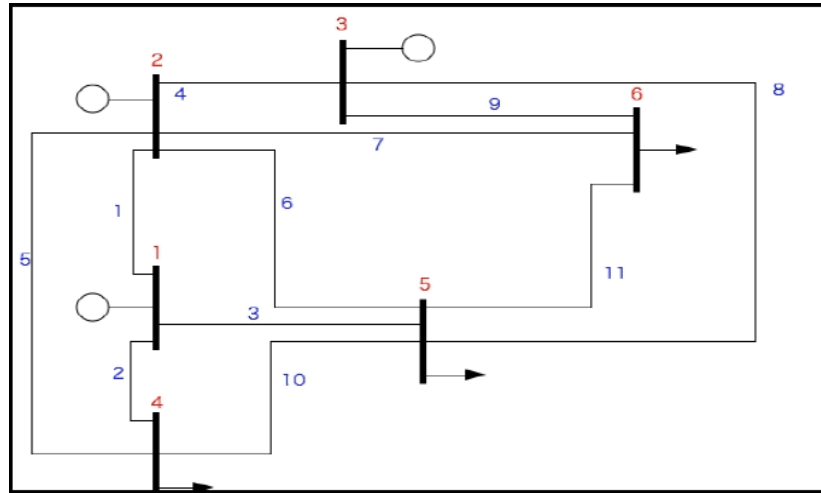


Figure IV.1: Schéma unifilaire du réseau électrique à 6 jeux de barres.

IV.3.2. Cas n°1-Simulation sur un réseau de IEEE-6bus :

La fonction de multi objective de notre problème est combine la chute de tension et le cout d'installation de dispositif SVC et le pertes totale dans le system électrique comme suivante :

$$f = \alpha * \frac{\Delta U}{U_{max}} + \beta * \frac{\Delta C}{C_{max}} + \gamma * \frac{PL}{PL_{max}}$$

ΔU = chute de tension , ΔC = cout d'installation de dispositif SVC, PL = pertes totale.

Le code représenté par le format binaire est d'une longueur 16 bits pour chaque générateur. Les probabilité de croisement 0.8 et les probabilités de mutation est 0.02. Le tableau IV-1 représente les paramètres de l'AG utilisés pour cette simulation [3].

Tableau IV.1:Paramètre de l'algorithme génétique– Binaire.

Taille de la population	100
probabilitéLa mutation	0.02
probabilité de croisement	0.8
de selection	Proportionnelle
Nombre de generations	200

- ✓ **1^{er} Simulation : l'objective \rightarrow minimisation le chute de tension (Δu): ($\alpha = 1$, $\beta = 0$ et $\gamma = 0$)**

Dans ce cas nous avons optimisé le chute de tension ΔU total perdu dans le réseaux 6 IEEE test

$$\Leftrightarrow FF = \frac{\Delta U}{U_{max}}$$

La figure IV.2 montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération ; Notez que AG a trouvé la valeur optimale à l' étape 30 des résultats QSVC et N°JB SVC.

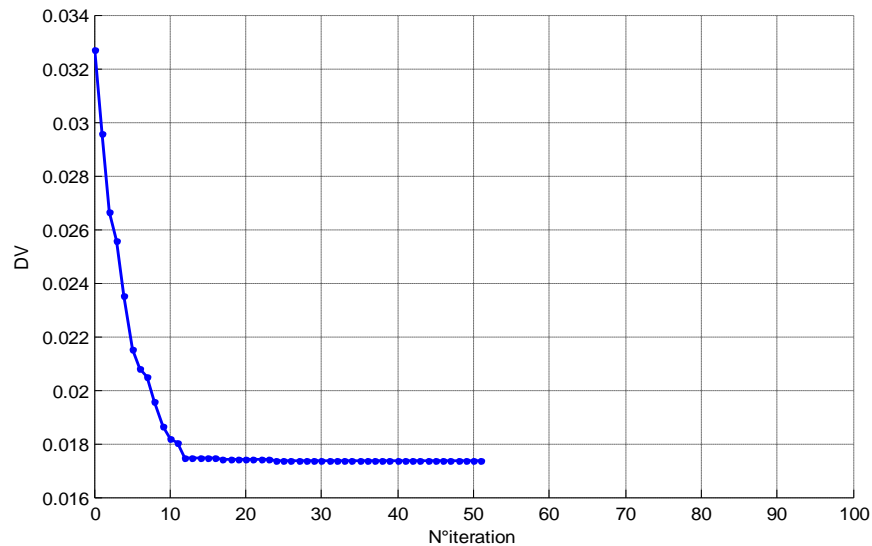


Figure IV.2 : le convergence de fonction d'objective DV du réseau électrique à 6 JB.

Le tableau (IV.2) représente résultats d'optimisation de le chute de tension Δu total per du dans le réseaux 6 IEEE test.

Tableau IV .2 :Résultats d'optimisation le Δu dans le réseaux 6 IEEE

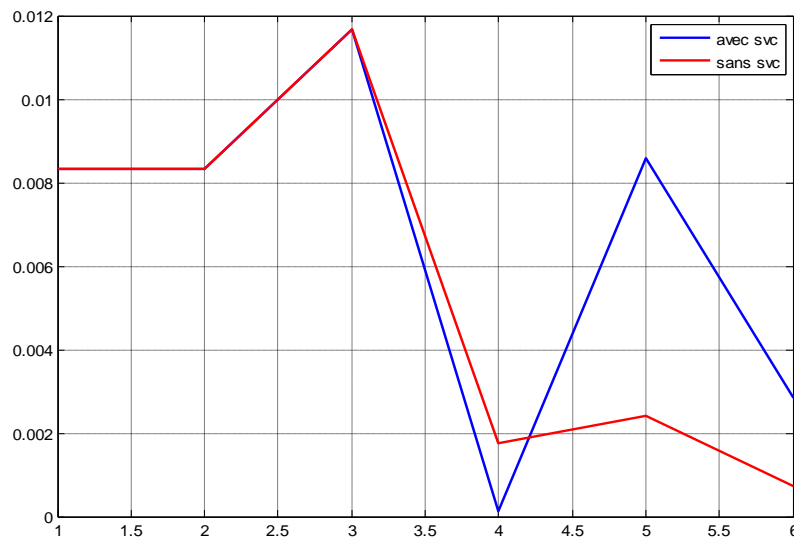
	NR	AG
N svc	/	5
Q_svc	/	97.4535
ΔU	0.0318	0.0174

Le tableau (IV.3) représente la chute de tension Δu en (pu) chaque nœud avec SVC et sans SVC par méthode AG .

Tableau IV.3 : le chute de tension dans le cas sans et avec SVC

Du	Sans SVC	Avec SVC
Du1	0.0083	0.0083
Du2	0.0083	0.0083
Du3	0.0117	0.0117
Du4	0.0018	0.0002
Du5	0.0024	0.0083
Du6	0.0007	0.0028

La figure IV.3 représente la chute de tension Δu en (pu) chaque J.B avec et sans SVC.

**Figure IV.3** : le modèle des chutes de tension du réseau électrique à 6 JB.

Le tableau (IV.4) représente la tension en (pu) dans chaque nœud avec et sans SVC par les AG.

Tableau IV.4 : de tension dans le cas sans et avec SVC

N° JB	Sans SVC	Avec SVC
1	1.05	1.05
2	1.05	1.05
3	1.07	1.07
4	0.9894	0.9991
5	0.9854	1.0516
6	1.0044	1.0171

La figure IV-4 représente la tension V en (pu) chaque nœud par avec SVC et sans SVC par méthode AG

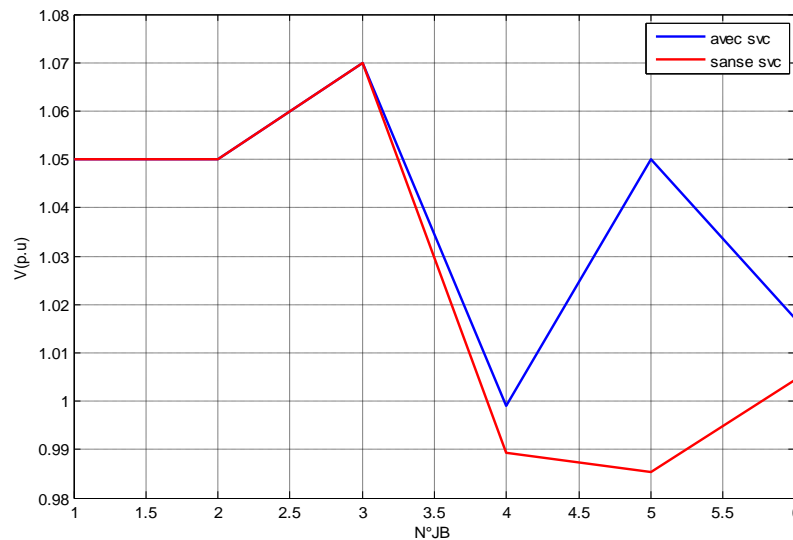


Figure IV.4 : le model des tensions du réseau électrique à 6 JB

Le tableau (IV.5) représente la angle en (pu) tout tensions par avec SVC et sans SVC par méthode AG.

Tableau IV.5 : le angle dans le cas sans SVC et le cas avec SVC

Angle	Sans SVC	Avec SVC
1	0	0
2	-3.6712	-3.3995
3	-4.2733	-3.9092
4	-4.1958	-4.1377
5	-5.2764	-6.1977
6	-5.9475	-5.7681

✓ **2^{ème} Simulation** : l'objective \rightarrow *cout d'installation dispositif SVC (coût_{SVC})*: ($\alpha = 0$, $\beta = 1$ et $\gamma = 0$)

$$\Leftrightarrow \text{FF} = \frac{\Delta C}{C_{\max}}$$

La figure IV-5 montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération.

Nous remarquons une amélioration de la population est très rapide au début et devient de plus en plus lente à mesure que le temps passe. L'optimum a été obtenu après quelle que secondes pour

les 50 générations. L'influence selon de la taille de la population 30 et 50, nous montre une grande amélioration de la fonction coût avec l'augmentation de la taille de la population, mais elle génère une augmentation du temps d'exécution

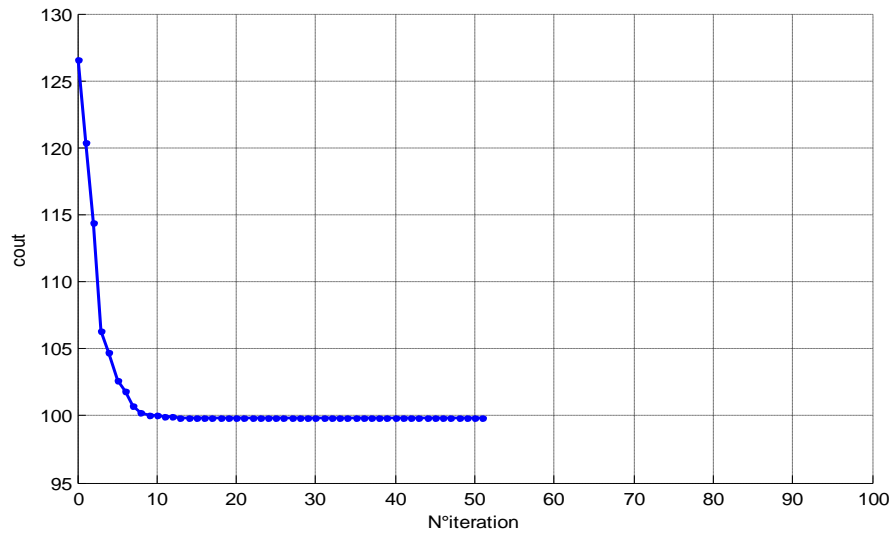


Figure IV.5 : le convergence de fonction d'objective cout SVC du réseau électrique à 6 JB

Le tableau (IV.6) représente le résultat de minimisation le cout d'installation diapositif SVC dans le réseaux 6 IEEE test.

Tableau IV.6 : résultat optimisé le cout d'installation diapositif SVC dans le réseaux 6 IEEE

	NR	AG
N SVC	/	3
Q_SVC	/	100
Coût	127.38	99.87

✓ **3^{ème} Simulation** : l'objective → *minimisation les perte active* (P_L): ($\alpha = 0$, $\beta = 0$ et $\gamma = 1$)

$$\Leftrightarrow FF = \frac{PL}{PL_{max}}$$

optimisation des pertes actives par les AG

La figure IV-6 montre l'évolution de la fonction PL durant le processus d'optimisation. On voit d'après cette figure que le PL de production commence à partir de la valeur initiale 8.6 MW, et le passage d'un point de fonctionnement à un autre, jusqu'à l'atteinte du point de fonctionnement optimal qui correspond au PL de production 6.2 MW.

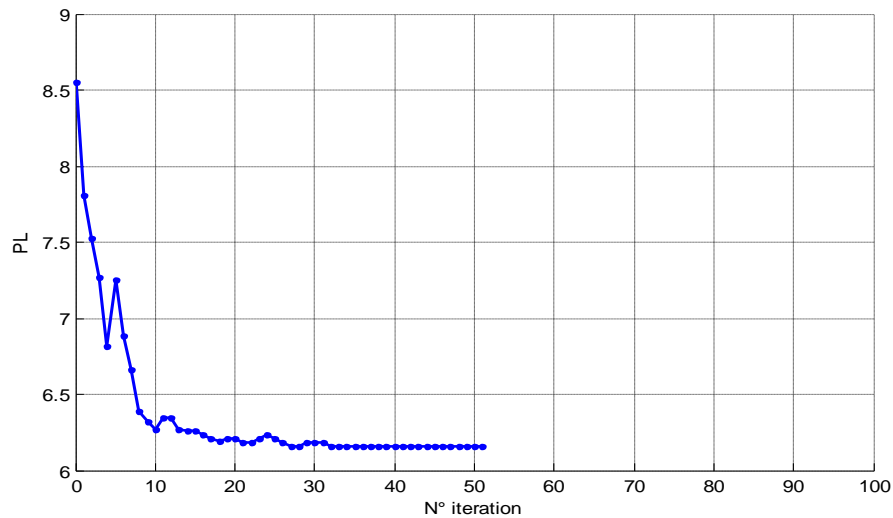


Figure IV.6: le convergence de fonction d'objective P_L du réseau électrique à 6 JB.

Dans ce cas nous avons optimisé pertes actives P_L dans le réseaux 6-IEEE test et comparé à dans le cas NR, et les résultat représente dans Le tableau (IV.7).

Tableau IV .7 : résulta optimisé perte active P_L dans le réseaux 6 IEEE

	NR	AG
N SVC	/	5
Q_SVC	/	81.5139
PL	7.8688	6.1603

✓ **4^{ème} Simulation :** l'objective \rightarrow *minimisation fonction d'objective (FF):* ($\alpha = 1$, $\beta = 1$ et $\gamma = 1$)

$$\Leftrightarrow FF = \alpha * \frac{\Delta u}{u_{max}} + \beta * \frac{Cout_{SVC}}{Cout_{SVC}} + \gamma * \frac{P_L}{P_{Lmax}}$$

Dans ce cas nous avons optimisé le fonction FF dans le réseaux 6 IEEE test.

La figure IV.7 montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération .Notez que AG a trouvé la valeur optimale à l' étape 40 des résultats QSVC et N°JB SVC

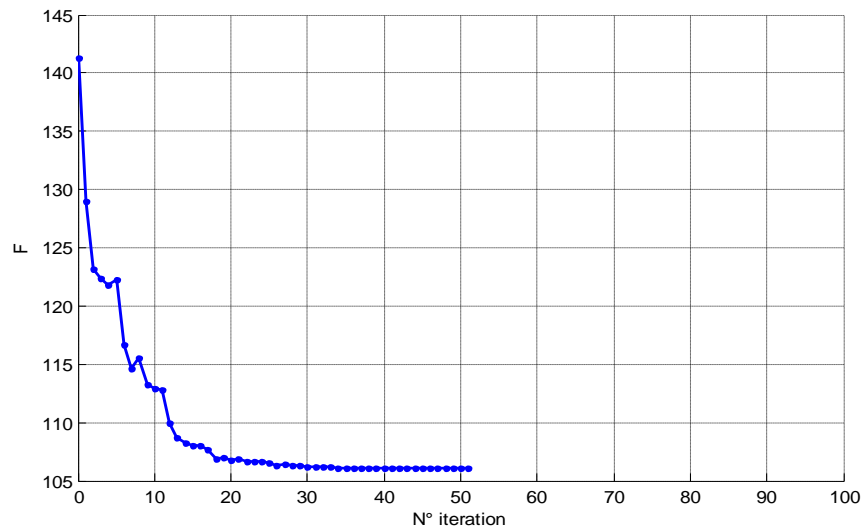


Figure IV.7: convergence de fonction d'objective f du réseau électrique à 6 JB

Tableau IV .8 : résulta optimisé FF dans le réseaux 6 IEEE

	NR	AG
N SVC	/	5
Q_SVC	/	100
DV	0.0318	0.0176
PL	7.8688	6.2364
Coût	127.38	106.1248
FF		3.0142

IV.3.3. Le réseau de test IEEE-30 jeux de barres :

Ce réseau de « 30 » jeux de barres , « 41 » ligne électriques « 20 »charges et « 6 » générateurs au niveau des jeux de barres numéro 1 ,2,4,5,8, et 11 voir la Figure

La puissance demandée et la puissance de base sont respectivement , 283.4 MW et 100 MVA ,le détaille de ce réseau (paramètres des lignes et jeux de barres) dans l'annexe A .

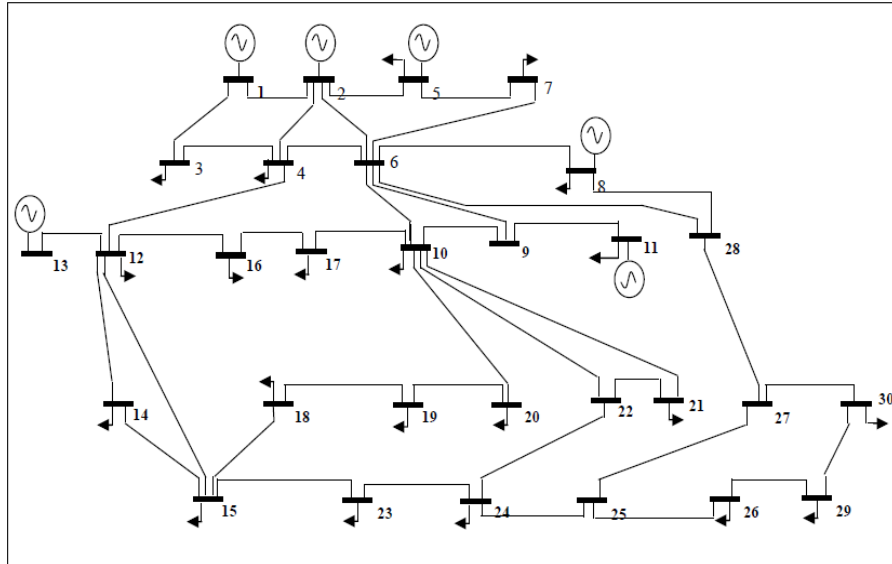


Figure IV.8 :Schéma unifilaire du réseau IEEE30 Bus

IV.3.4. Cas n°2-Simulation sur un réseau de IEEE-30 bus :

- ✓ **1^{er} Simulation :** l'objective \rightarrow *minimisation le chute de tension (Δu): ($\alpha = 1$, $\beta = 0$ et $\gamma = 0$)*

La figure IV.11montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération, notez que AG a trouvé la valeur optimale à l' étape 20 des résultats QSVC et N°JB SVC.

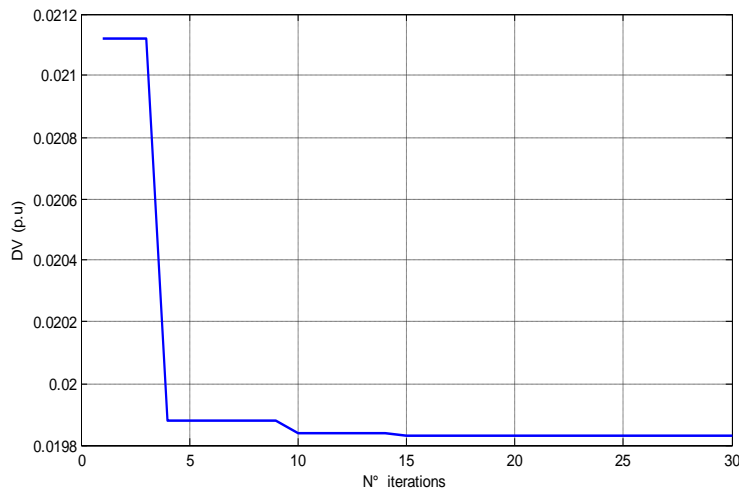


Figure IV.9 : le convergence de fonction d'objectif DV du réseau électrique à 30 JB

Les résultats montrent les déviations de tension ainsi les Nsvc et Qsvc comme illustrée dans le tableau .

Le tableau (IV.9) représente résultats obtenue pour optimiser le chute de tension Δu total perdu dans le réseaux 30 IEEE test.

Tableau IV .9 :*minimisation* chute de tension dans le réseaux 30 IEEE

	NR	AG
N _{svc}	/	24
Q _{svc}	/	86.3522
ΔU	0.0558	0.0198

Le tableau (IV.7) représente la tension en (pu) dans chaque nœud par avec SVC et sans SVC par méthode AG

Tableau IV .10 : tension dans le cas sans SVC et le cas avec SVC

N °JB	sans SVC	avec SVC	N °JB	sans SVC	avec SVC
1	1.06	1.06	16	1.0113	1.0534
2	1.043	1.043	17	1.0006	1.0547
3	1.0279	1.0344	18	0.9919	1.0475
4	1.0218	1.0298	19	0.9876	1.0447
5	1.01	1.01	20	0.9907	1.0482
6	1.0147	1.0226	21	0.9911	1.068
7	1.0044	1.0092	22	0.9914	1.0732
8	1.01	1.01	23	0.9892	1.0854
9	1.0259	1.0566	24	0.9768	1.1319
10	1.0035	1.0624	25	0.9756	1.0827
11	1.082	1.082	26	0.9573	1.0663
12	1.0296	1.0586	27	0.9841	1.06
13	1.071	1.071	28	1.0094	1.0225
14	1.012	1.0541	29	0.9633	1.0409
15	1.005	1.0577	30	0.9514	1.0299

Figure IV.10 représente les niveaux de tensions des jeux de barres trouvés par l'algorithme AG testé sur le réseau IEEE 30Bus (sont dans l'intervalle [0.95 ,1.15]).

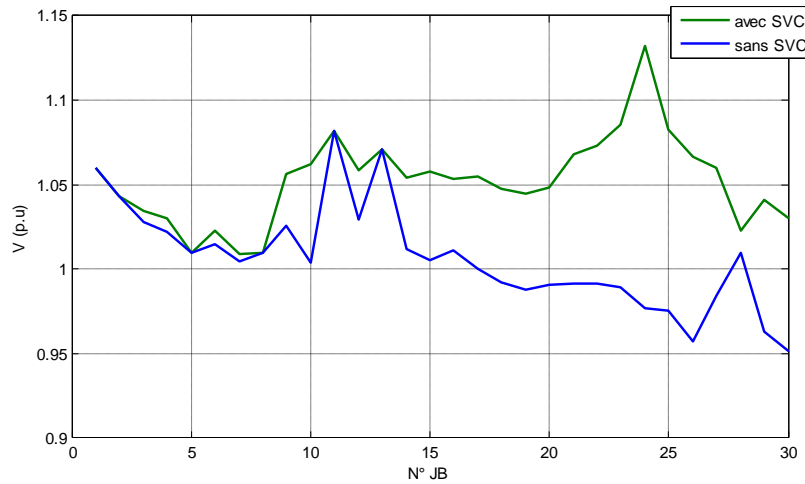


Figure IV.10 : le module de tensions du réseau électrique à 30 JB

Tableau(IV.8) représente Les phases des tensions des jeux de barres sont compris entre sans SVC et avec SVC

Tableau IV.11: le angle dans le cas sans SVC et le cas avec SVC

N° JB	sans SVC (°)	avec SVC (°)	N° JB	sans SVC (°)	avec SVC (°)
1	0	0	16	-8.7703	-8.8872
2	-1.7058	-1.7693	17	-9.0184	-9.2836
3	-3.8162	-4.0234	18	-9.827	-10.2445
4	-4.5933	-4.8384	19	-9.992	-10.3353
5	-6.4155	-6.4998	20	-9.7538	-10.0913
6	-5.3292	-5.6294	21	-9.3068	-10.0107
7	-6.2836	-6.4959	22	-9.3	-10.1421
8	-5.5456	-5.7391	23	-9.5945	-11.3354
9	-6.8109	-7.2338	24	-9.7487	-12.9414
10	-8.8205	-9.1659	25	-9.8174	-11.3012
11	-4.6424	-5.1285	26	-10.2806	-11.676
12	-8.2334	-8.189	27	-9.5727	-10.0357
13	-6.7784	-6.7739	28	-5.7709	-6.2097
14	-9.1852	-9.2872	29	-10.9161	-11.19
15	-9.214	-9.7857	30	-11.8607	-11.9976

Figure IV.11 représente les niveaux d'angle des jeux de barres trouvés par l'algorithme AG testé sur le réseau IEEE 30 Bus (sont dans l'intervalle $[0, -14]$).

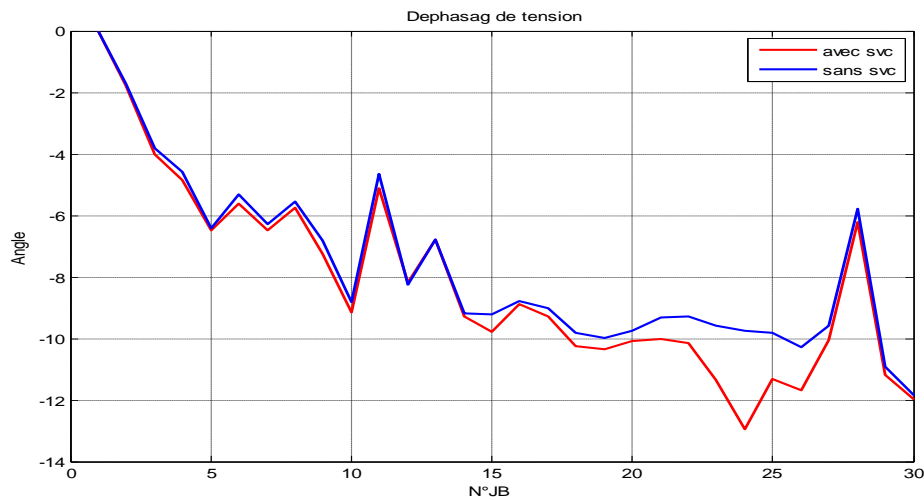


Figure IV.11 : le module de angle du réseau électrique à 30 JB

✓ 2^{ème} Simulation : l'objective \rightarrow *cout d'installation dispositif SVC* (Coût_{SVC}): ($\alpha = 0$, $\beta = 1$ et $\gamma = 0$)

Dans ce cas nous avons optimisé le cout d'installation diapositif SVC dans le réseaux 30 IEEE test,

La figure IV.12 montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération, notez que AG a trouvé la valeur optimale à l' étape 35 des résultats QSVC et N°JB SVC.

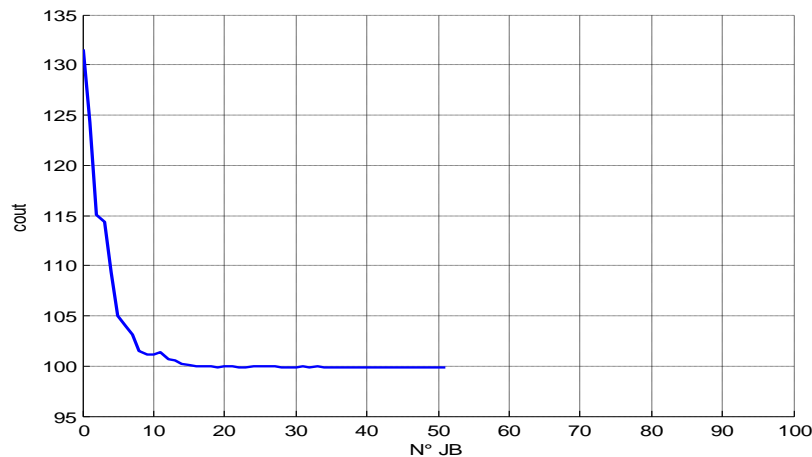


Figure IV.12 : convergence cout d'installation SVC du réseau électrique à 30 JB

le tableau (IV.12) représente résultat optimisé le cout d'installation diapositif SVC dans le réseaux 30 IEEE test dans le cas méthode et comparé à cout SVC dans le cas NR.

Tableau IV .12 : résultat optimisé coût d'installation SVC dans le réseaux 30 IEEE

	NR	AG
N SVC	/	27
Q_SVC	/	100
Coût SVC	127.3800	99.87

✓ **3^{ème} Simulation : l'objectif \rightarrow minimisation les perte active (P_L): ($\alpha = 0$, $\beta = 0$ et $\gamma = 1$)**

Dans ce cas nous avons optimisé perte active P_L dans le réseaux 30 IEEE test

La figure IV-13 montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération, notez que AG a trouvé la valeur optimale à l' étape 30 des résultats QSVC et N°JB SVC

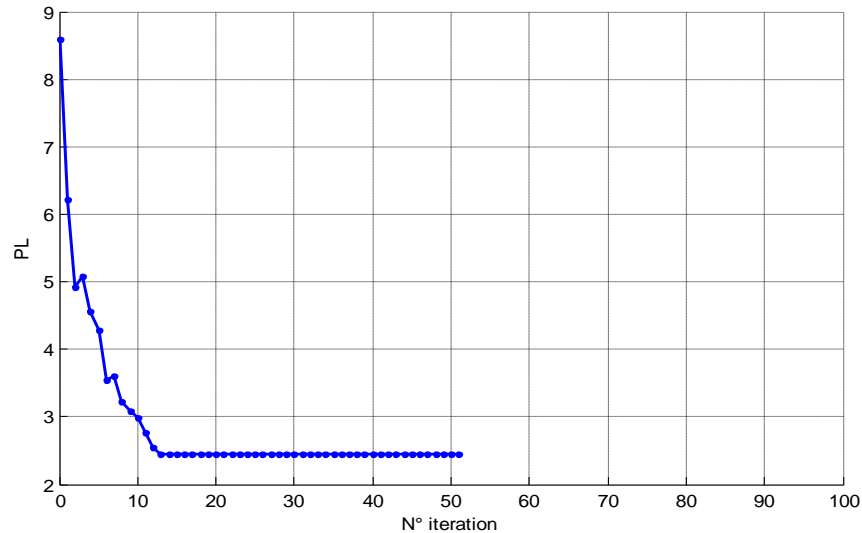
**Figure IV.13** : la convergence de fonction d'objectif PL du réseau électrique à 30 JB

tableau (IV.11) représente résultats optimisé P_L dans le réseaux 30 IEEE test.

Tableau IV .13 : résultat optimisé perte active PL dans le réseaux 30 IEEE

	NR	AG
N svc	/	5
Q_svc	/	73.9847
PL	5.6165	2.4446

- ✓ 4^{ème} Simulation : l'objective \rightarrow minimisation fonction d'objective (FF): ($\alpha = 1$, $\beta = 1$ et $\gamma = 1$)

Dans ce cas nous avons optimisé le fonction FF dans le réseaux 30IEEE.

La figure IV.14 montre les meilleures valeurs sélectives pour chaque génération, notez que AG a trouvé la valeur optimale à l' étape 35 des résultats QSVC et N°JB SVC

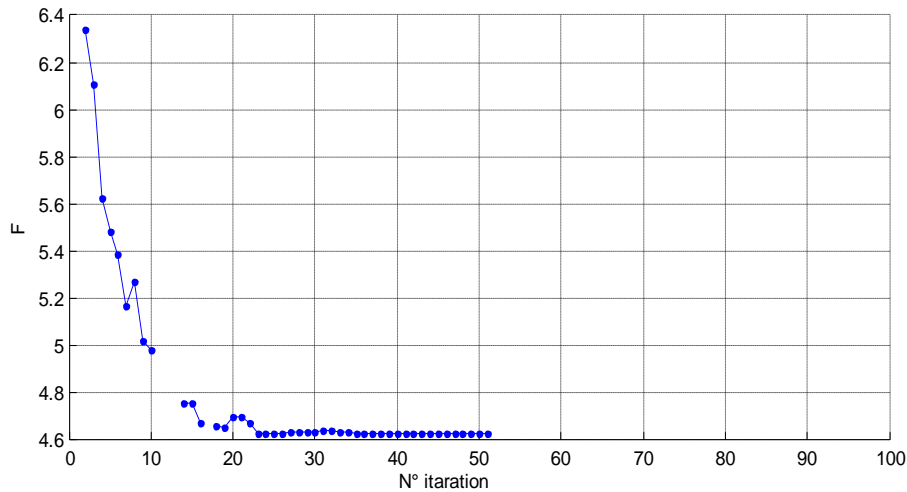


Figure IV.14 : le convergence de fonction d'objective f du réseau électrique à 30 JB

Tableau IV .14 : résultats optimisé FF dans le réseaux 30 IEEE

	NR	AG
N SVC	/	5
Q_SVC	/	100
ΔU	0.0558	0.0521
PL	5.6154	2.446
Coût	127.38	99.8700
F		4.6291

IV.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a appliqué les algorithmes génétiques, pourtraité le problème de placement de FACTS, commençant par le problème de calcul de load-flow et finalement le problème d'optimisation de placement de FACTS. La qualité du résultat dépend de la qualité des solutions de l'OPF, du dosage réalisé entre les éléments de la fonction objectif (coût d'installation SVC, pertes par effet joule P_L , chute de tension Δu , pénalités sur la violation des contraintes etc.) et des paramètres de l'algorithme génétique (taille de population, nombre de

génération, taux de croisement etc.), les résultats obtenus par l'application des algorithmes génétiques nous trouver un très réussie du point de vue sur le cout d l'installation SVC, ainsi que du point de vue des pertes .

Conclusion Générale

Dans ce travail, on a décrit l'effet du dispositif FACTS shunt sur l'écoulement de puissance et en particulier le profil des tensions d'un réseau électrique en se basant sur les méthodes de résolution des équations non-linéaires de Newton-Raphson pour le calcul de la répartition de charge.

Dans la dernière étape, nous avons présenté le schéma électrique équivalent du réseau étudié détaillé à savoir (IEEE6 et 30JB) et nous avons étudié l'écoulement de puissance de ce réseau en régime équilibré sans la présence du SVC.

Pour avoir un meilleur contrôle du réseau électrique, le dispositif shunt "SVC" est implanté sur le nœud de charge numéro 3,5 et 27 qui constitue le nœud le plus fragile du réseau standard IEEE à 6 et 30 jeux de barres.

Les résultats obtenus montrent clairement que le dispositif de contrôle SVC peut jouer un rôle très important dans le domaine de la compensation des puissances réactives et le contrôle des tensions des différents nœuds. En effet, il permet l'amélioration du niveau de tension du nœud où il est incorporé, ainsi que les nœuds voisins. Les systèmes FACTS shunt soutiennent la tension de façon homogène sur l'ensemble du réseau.

Comme perspective de ce travail, nous proposons d'introduire l'optimisation de l'emplacement des FACTS série et parallèle pour avoir le meilleur profil de la tension et le minimum de pertes de puissance tout en respectant toutes les contraintes techniques imposées préalablement et ce en appliquant des méthodes Algorithme Génétique et méthodes 'optimisation évolutionnaires[1].

Références bibliographiques

- [1] B. Abdelhak, « Etude de l'écoulement de puissance sur un réseau électrique en présence des systèmes FACTS » Mémoire Master académique, Université Kasdi Merbah Ouargla 2016.
- [2] O. MAMMARI, « Différentes Méthodes De Calcul De La Puissance Réactive Dans un Noeud A Charge Non Linéaire En Présence D'un Système De Compensation De L'énergie », Mémoire de Magister, Université de Batna 2012.
- [3] G. Abdelmalek, « Utilisation des méthodes d'optimisations méta heuristiques pour La résolution du Problème de répartition optimale de La Puissance dans les réseaux électriques », mémoire de Magister, Université d'El-oued, 2010.
- [4] M. RAHLI, « Contribution à l'étude de la répartition optimale des puissances actives dans un réseau d'énergie électrique ». Thèse de Doctorat, Université de UST Oran, 1996.
- [5] SAYAH Samir, « Application de l'intelligence artificielle pour le fonctionnement optimal des systèmes électriques », Thèse de doctorat, Université de SETIF 1, 2009.
- [6] R. Missoum, « Etude d'un dispatching économique des puissance active par les algorithmes de fourmis », Mémoire de Magister, Université de Chlef 2008
- [7] HAIMOUR Rachida, « Contrôle des puissances réactives et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique », Mémoire de magister, Ecole normale supérieure de l'enseignement technologique d'Oran, 2009.
- [8] Laid Hichem, « Contribution à l'étude du contrôle du flux de puissance par l'UPFC », Mémoire de magister, Université de Batna 2009.
- [9] Sami AMMARI, « Interaction des dispositifs FACTS avec les charges dynamiques dans les réseaux de transport et d'interconnexion. », thèse de doctorat, spécialité : génie électrique, institut national polytechnique de Grenoble, soutenu
- [10] J. C. Passelergue, rapport de thèse "Interactions des dispositifs FACTS dans les grands réseaux électriques" LEGI-INPG, Novembre 1998.
- [11] Abdelaali Alibi, « contrôle des réseaux électriques par les systèmes FACTS », mémoire de magistère, option : électricité industrielle, université de Batna, soutenue le 13/06/2009.

- [12] Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal, "Flexible AC Transmission systems: Modelling and Control", Springer 2005.
- [13] Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pérez, César Angeles-Camacho, "FACTS Modelling and Simulation in Power Networks", John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [14] Mezaache Mohamed, «analyse et traitement de la qualité d'énergie électrique en utilisant des dispositifs de contrôle des réseaux électriques à UPFC dans le cas de stabilité de la tension », mémoire de magister, option réseaux électriques, université de Batna, soutenu le 24/11/2011.
- [15] Haimour Rachida, « contrôle des puissances réactives et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique », mémoire de magister en électrotechnique, option identification modélisation et commande numérique des processus, école normale supérieure de l'enseignement technologique d'Oran, année universitaire 2008-2009.
- [16] Henri Persoz, Gérard Santucci, Jean-Claude Lemoine, Paul Sapet « La planification des réseaux électriques » Editions EYROLLES 1984.
- [17] Sit internet: en.wikipedia.org/wiki/flexible_AC_transmission.system.
- [18] Kartobi Lamia, «Optimisation de la Synthèse des FACTS par les Algorithmes Génétiques et les Essaims Particulaires pour le contrôle des Réseaux Electriques », mémoire de magistère, option réseaux électriques et haute tension, école nationale polytechnique Alger, Soutenue le 29 Novembre 2006.
- [19] Bekki Brahim, « contribution du SMES, dispositifs FACTS, à la stabilisation d'un réseau électrique haute tension », mémoire de magistère en électrotechnique, option réseaux électriques et haute tension, école nationale polytechnique Alger, Soutenue le 20 septembre 2006.
- [20] Rabah Benabid, «Optimisation Multiobjectif de la Synthèse des FACTS par les Particules en Essaim pour le Contrôle de la Stabilité de Tension des Réseaux Electriques», mémoire de magister, option : Analyse, Conduite et Commande des réseaux électriques, université Amar Telidji, Laghouat, soutenu le 04/09/2007.

[21] N. G. HINGORANI and L. GYUGYI, understanding FACTS; concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, IEEE Press, New York, 2000.

[22] DELENDI LOUARDI, « contrôle de l'écoulement de puissance active par système », mémoire

de magistère en électrotechnique, Option : Electricité industrielle, université de Batna, soutenue le 25/06/ 2009.

[23] A. A. Ladjici, A. Barar, « Introduction aux systèmes flexibles de transmission en courant alternatif FACTS », Mémoire d'ingénieur, Ecole National Polytechnique, Alger, Juin 2002.

[24] ESKANDAR GHOLIPOUR SHAHRAKI, « apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité

transitoire des réseaux électriques », thèse de doctorat, spécialité génie électrique, université Henri Poincaré Nancy-I, soutenue le 13 octobre 2003.

[25] F. ZINEDDINE .T. MOHAMMED ELHADI, « application des algorithmes génétiques à l'optimisation de la production énergie active dans réseau électrique », MASTER ACADEMIQUE ,Université d'El-oued soutenu 06/2014.

[26] BEKAKRA . YOUSEF ,«techniques de l'intelligence artificielle», COURES ,Université d'El-oued 2018.

[27]BOURASE YAKOUB« stabilité d'un réseau électrique en présence des dispositif FACTS», MASTER ACADEMIQUE ,Université d'El-oued soutenu 05/2016.

[28] MAGNOUN YOUNESS, « placement optimale de positif FACTS dans réseau de puissance », le Diplôme D'INGENIEUR CNAM en SYSTEMES ELECTRIQUES, soutenance 03/06/2014

[29] A .B. BHATTACHARYYA , b .S.K Goswami OPTIMAL Placement of FACTS devices by Genetic algorithm for the increased load ability of a power system , world academy of science engineering and technology .2011

Annexe :A

TableauA.1 : Bus data 30jb

Bus No	Bus code	Voltage	Angle	---Load---		-----Generator-----				
		Mag	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar
1	1	1.06	0	0	0	0	0	-20	200	0
2	2	1.043	0	21.7	12.7	80	27.687	-20	100	0
3	0	1	0	2.4	1.2	0	0	0	0	0
4	0	1	0	7.6	1.6	0	0	0	0	0
5	2	1.01	0	94.2	19	50	21.544	-15	80	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	22.8	10.9	0	0	0	0	0
8	2	1.01	0	30	30	20	22.933	-15	60	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1	0	5.8	2	0	0	0	0	0
11	2	1.082	0	0	0	20	38.883	-10	50	0
12	0	1	0	11.2	7.5	0	0	0	0	0
13	2	1.071	0	0	0	20	40.345	-15	60	0
14	0	1	0	6.2	1.6	0	0	0	0	0
15	0	1	0	8.2	2.5	0	0	0	0	0
16	0	1	0	3.5	1.8	0	0	0	0	0
17	0	1	0	9	5.8	0	0	0	0	0
18	0	1	0	3.2	0.9	0	0	0	0	0
19	0	1	0	9.5	3.4	0	0	0	0	0
20	0	1	0	2.2	0.7	0	0	0	0	0
21	0	1	0	17.5	11.2	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	3.2	1.6	0	0	0	0	0
24	0	1	0	8.7	6.7	0	0	0	0	0
25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	3.5	2.3	0	0	0	0	0
27	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	0	2.4	0.9	0	0	0	0	0
30	0	1	0	10.6	1.9	0	0	0	0	0

TableauA.1 : Bus data 6jb

Bus No	Bus	Voltage	Angle	---Load---		-----Generator-----		Injected		
	code	Mag	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar
1	1	1.05	0	0	0	0	0	-300	300	0
2	2	1.05	0	0	0	50	0	-300	300	0
3	2	1.07	0	0	0	60	0	-300	300	0
4	0	1	0	70	70	0	0	0	0	0
5	0	1	0	70	70	0	0	0	0	0
6	0	1	0	70	70	0	0	0	0	0