

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux électriques
Présenté par :
BEN HAMMOUDA Lahcen

Thème:

Minimisation des pertes actives dans un réseau électrique par l'algorithme d'optimisation par essaim de particules

Soutenu publiquement

Le 06/07/2019

Devant le jury :

M ^f GUEHRAR Youcef	MAA	Président	UKM Ouargla
M ^f SADAOUI Fares	MCA	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^f BOUDJALLA Haouari	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2018/2019

Résumé

Ce travail consiste à étudier un problème d'optimisation d'écoulement de puissance appliqué sur un réseau électrique standard IEEE à 30 jeux de barres en régime permanent et équilibré. Notre objectif principal est de minimiser les pertes actives du réseau testé en respectant les limites de sécurité vis-à-vis des tensions de service, des puissances apparentes transitées dans les lignes ainsi que les limites des générateurs de production en termes de puissance active et réactive fournies.

L'application mise en œuvre est constituée essentiellement de deux parties. La partie principale qui représente la méthode d'optimisation d'essaim de particules, utilisée pour la recherche du meilleur vecteur des variables de contrôle induisant le moins de pertes actives possibles dans le réseau électrique. La deuxième partie traite le problème d'écoulement de puissance, elle calcule la fonction objective du problème d'optimisation qui est les pertes actives. Les résultats obtenus mis en évidence l'efficacité de la méthode PSO dans le problème d'optimisation considéré. En effet, la convergence est atteinte avec un nombre de générations de moins de 50, c'est-à-dire un temps de calcul raisonnable. L'optimisation proposée a permis de réduire les pertes actives et d'améliorer le profil des tensions de l'ensemble des jeux de barres.

Mot clés : écoulement de puissance, méthode de Newton-Raphson, problème d'optimisation, optimisation par essaim de particule, fonction objective, pertes actives, profil de tension.

Abstract

This work consists in studying a power flow optimization problem applied on an IEEE standard electrical network with 30 buses in steady state and balanced. Our main objective is to minimize the active losses of the tested network by respecting the safety limits with respect to the operating voltages, the apparent power transited in the lines as well as the limits of the generators of production in terms of active and reactive power provided.

The application implemented consists essentially of two parts. The main part which represents the method of particle swarm optimization, used for the search of the best vector of the control variables inducing the least possible active losses in the electrical network. The second part deals with the problem of power flow, it calculates the objective function of the optimization problem which is the active losses. The results obtained highlighted the effectiveness of the PSO method in the optimization problem considered. Indeed, the convergence is reached with a number of generations of less than 50, that is to say a reasonable calculation time. The proposed optimization has reduced active losses and improved the voltage profile of all bus.

Key words: power flow, Newton-Raphson method, optimization problem, particle swarm optimization, objective function, active losses, voltage profile.

Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je nécessitais pour l'accomplissement de ce travail.

En premier lieu, je tiens à remercier

M^r SADAOUI Fares,

Mon encadreur de mémoire et je lui exprime toute ma reconnaissance pour sa confiance en mon travail, sa patience et les nombreux conseils qu'il m'a prodigués.

Pour finir, j'adresse mes remerciements aux membres du jury et de l'Université, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à :

Ma Mère.

Mon Père.

Mes frères et sœurs.

Toute ma grande famille.

Tous mes amis.

Mes enseignants.

*Et en fin tous ceux qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin
durant l'élaboration de ce travail.*

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux	i
Liste des symboles et abréviation.....	iii
Chapitre I: Etude de l'écoulement de puissance	
Introduction générale.....	1
I.1 Introduction	3
I.2 Description et modélisation des éléments de puissances du réseau	3
I.2.1 Générateurs	3
I.2.2 Ligne de transmission	4
I.2.3 Charge électrique	4
I.2.4 Élément shunt	5
I.2.5 Les transformateurs à prise variable	5
I.3 Jeux de barres (Bus)	6
I.3.1 Jeux de barres de contrôle PV	6
I.3.2 Jeux de barres de charge PQ.....	6
I.3.3 Jeu de barre de référence	6
I.4 Étude de l'écoulement des puissances	7
I.5 Matrice d'admittance nodale	7
I.5.1 L'équation générale de l'admittance	8
I.6 Formulation de Base de l'écoulement de puissance	9
I.6.1 Équations de l'écoulement de puissance	9
I.6.2 Puissances transitées dans les lignes et les pertes.....	10
I.7 Résolution du problème d'écoulement de puissance	10
I.7.1 Algorithme de Newton-Raphson	13
I.8 Conclusion.....	14
Chapitre II: Optimisation de l'écoulement de puissance	
II.1 Introduction	17
II.2 Écoulement de puissance optimal	17
II.3 Optimisation des puissances réactives	18
II.4 Formulation mathématique du problème	19
II.4.1 Fonction objective.....	19

II.4.2	Contraintes	20
II.4.2.1	Contraintes d'égalité	20
II.4.2.2	Contraintes d'inégalité	21
II.5	Méthodes méta heuristiques	22
II.5.1	Définitions et descriptions	23
II.5.1.1	Heuristique	23
II.5.1.2	Méta heuristiques	23
II.5.2	Classifications possibles du méta heuristique.....	24
II.5.2.1	Méta heuristiques à base de population.....	26
II.5.2.2	Méthodes évolutionnaires	26
II.6	Optimisation par essaim de particules.....	26
II.6.1	Concept de base	28
II.6.2	Algorithme de PSO	30
II.6.3	PSO multi-objectif	31
II.7	Conclusion.....	32
Chapitre III: Application et résultats de simulation		
III.1	Introduction	34
III.2	Réseau électrique testé	34
III.3	Écoulement de puissance	35
III.4	Optimisation de l'écoulement de puissance	42
III.4.1	Paramètres de contrôle de PSO.....	42
III.4.2	Variables de contrôle	42
III.4.3	Fonction objective et contraintes d'égalités et d'inégalités	43
III.4.4	Algorithme PSO.....	45
III.4.5	Résultats de l'écoulement optimal	46
III.5	Conclusion.....	48
Conclusion générale		50
Références bibliographiques		52
Annexes.....		56

Liste des figures

Figure I. 1 : Modèl d'un générateur.	3
Figure I. 2 : Modèl d'une ligne de transmission en π	4
Figure I. 3 : Model d'une charge électrique.	5
Figure I. 4 : Model de l'élément shunt	5
Figure I. 5 : Model du transformateur	6
Figure I. 6 : Réseau électrique à 3 nœuds.	7
Figure I. 7 : Organigramme de la méthode de NETWON-RAPHSON	14
Figure II. 1 : Classification des métaheuristique	24
Figure II. 2 : Concept de modification d'un point de recherche par l'PSO.....	29
Figure II. 3 : Organigramme général de PSO	31
Figure III. 1 : Schéma unifilaire du réseau électrique IEEE à 30- jeux de barres.	35
Figure III. 2 : Amplitude des tensions pour chaque jeu de barres.	36
Figure III. 3 : le principe de base de la méthode PSO.....	45
Figure III. 4 : caractéristique de convergence de la méthode PSO dont la fonction objective est minimisée les pertes actives	46
Figure III. 5 : la variation de l'amplitude de la tension des jeux de barres du réseau testé avant et après l'optimisation.	47

Liste des tableaux

Tableau III. 1 : Rapports de transformation entre les lignes	34
Tableau III. 2: Amplitude de tension de chaque nœud et les Puissances actives et réactives de charges et génération pour un réseau IEEE 30 jeux de barres.	37
Tableau III. 3: Puissances transitées et les pertes dans le réseau IEEE à 30 jeux de barres	38
Tableau III. 4: Paramètres de l'algorithme PSO.	42
Tableau III. 5: Limites maximales et minimales des variables de contrôle.	43
Tableau III. 6: Limites minimales et maximales des puissances réactives des générateurs.	44
Tableau III. 7 : Variables de contrôle du réseau testé avant et après l'optimisation.....	47
Tableau III. 8 : les puissances actives et réactives après l'OPF.....	47

Liste des symboles et abréviations

Liste des symboles

<i>Symboles</i>	
$P_{G_i}^{\min} P_{G_i}^{\max}$	La puissance active générée minimale et maximale
P_{G_i}	La puissance active générée
P_{best_i}	Meilleure position d'une particule i
G_{best}	Meilleure position de tout l'essaim
rand1 et rand 2	Nombres aléatoires
S_i	Puissance apparente injectée à un jeu de barres i
V_i^k	Vitesse d'une particule i à l'itération k
X_i^k	Position d'une particule i à l'itération k
w	Facteur d'inertie.
C_1 et C_2	Facteurs d'accélération
w_{min} et w_{max}	Valeurs initiale et finale du facteur d'inertie
J et J_{aug}	Fonction objective et fonction objective augmentée
G et H	Contraintes d'égalités et d'inégalités
Y_{pi}	L'admittance shunt au jeu de barres i
P_{max}	La puissance maximale de la ligne
Y_{bus}	Matrice admittance nodale
Y_{im}	Élément im de la matrice admittance
I_i	Courant net injecté à un jeu de barres i
V_m	Tension d'un jeu de barres m
V_m et δ_m	Module et phase de la tension au jeu de barres m
Y_{im} et θ_{im}	Module et argument de l'élément im de la matrice admittance
P_i et Q_i	Puissances active et réactive injectées au jeu de barres i
P_{G_i} et Q_{G_i}	Puissance active et réactive du générateur i
P_{D_i} et Q_{D_i}	Puissance active et réactive demandée au jeu de barres i
J_1, J_2, J_3 et J_4	Sous matrices Jacobiennes

Liste des abréviations

<i>Abréviations</i>	
EP	Ecoulement de Puissance
PSO	Particle Swarm Optimization.
AG	Algorithme Génétique
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
JB	Jeu de barres
pu	Grandeur en unité relative (grandeur réduite)
FACTS	Flexible Alternating current transmission system
MOPSO	Multi-objectif Essaims de particules
OPF	Optimal Power Flow
ORPF	Optimal Réactive Power Flow

Introduction Générale

Introduction générale

Le système électrique est un réseau-source alimentant un très grand nombre de clients à partir d'un petit nombre de centrales de production. L'énergie produite par les centrales transite sur les lignes de haute et très haute tensions du réseau de transport maillé sur une zone couvrant un ou plusieurs Etats, puis est acheminée sur des réseaux de distribution de moyennes et basses tensions dont l'arborescence permet d'atteindre les clients finals. Sachant que l'énergie électrique est produite en même temps qu'elle est consommée; donc, en permanence, la production doit s'adapter à la consommation. Par conséquent Il faut ajuster les puissances active et réactive des générateurs interconnectés dans un réseau électrique dans leurs limites admissibles afin de satisfaire la charge électrique fluctuante avec un coût minimal et avec une certaine protection d'environnement. Cette opération est appelé l'écoulement de puissance optimal (OPF).

Pour résoudre un tel problème, des méthodes nommées métaheuristique sont utilisées à savoir la méthode du recuit simulé, les algorithmes génétiques, la méthode de recherche tabou, les algorithmes de colonies de fourmis et l'optimisation par essaim des particules. Toutes ces méthodes ont pour objectif commun de résoudre au mieux les problèmes d'optimisation difficiles.

Dans notre travail, nous avons appliqué la méthode d'optimisation par essaim des particules(PSO) à l'écoulement de puissance dans un réseau électrique afin de minimiser les pertes actives en satisfaisant certains contraintes. Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre présente la description et la modélisation des éléments de puissance essentiels du réseau de transport. La formulation du problème de l'écoulement de puissance est par la suite étudiée en détail dont la résolution est obtenue en appliquant l'application de la méthode numérique de Newton-Raphson. Le deuxième chapitre décrit le problème de l'optimisation de l'écoulement de puissance et les méthodes métaheuristicques. Une intention plus particulière est portée sur la méthode de l'essaim de particules. Le dernier chapitre regroupe les résultats de simulation obtenus suite à l'application de la méthode PSO sur un réseau de test IEEE à 30 jeux de barres dont la fonction objective consiste à minimiser les pertes actives.

CHAPITRE 1 :

Etude de l'écoulement de puissance

I.1 Introduction

L'étude de l'écoulement de puissance permet d'avoir la solution des grandeurs d'un réseau électrique en fonctionnement normal équilibré en régime permanent. Ces grandeurs sont les tensions aux nœuds, les puissances injectées aux nœuds et celles qui transitent dans les lignes. Les pertes et les courants s'en déduisent. Les études de l'écoulement de puissance permettent de planifier la construction et l'extension des réseaux électriques ainsi que la conduite et le contrôle de ces réseaux.

Dans cette partie, nous allons d'abord présenter les modèles des composants d'un réseau, par la suite ,le problème de l'écoulement de puissance est décrit mathématiquement et résolu par le moyen de méthodes numériques appliquées pour la résolution d'un système d'équations non linéaire

I.2 Description et modélisation des éléments de puissances du réseau

I.2.1 Générateurs

Dans l'analyse de l'écoulement de puissance, les générateurs sont modélisés comme des injecteurs de courants. Comme montre de la figure I.1

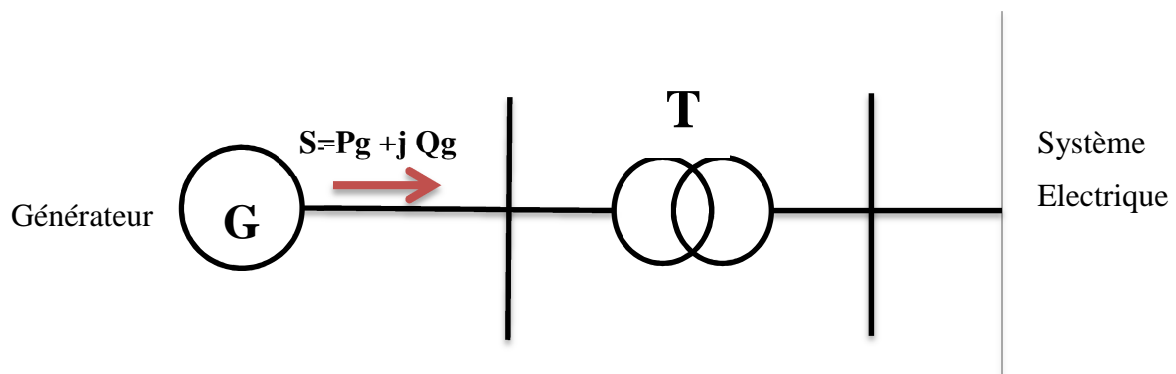


Figure I. 1 : Modèl d'un générateur.

La puissance apparente délivrée par le générateur donnée par :

$$S = P_g + j Q_g \quad (I.1).$$

I.2.2 Ligne de transmission

Les lignes de transmission de l'énergie électrique entre les jeux de barres i et j généralement représentée par le schéma équivalent par phase de type (π) comme indiqué sur la figure I.2 :

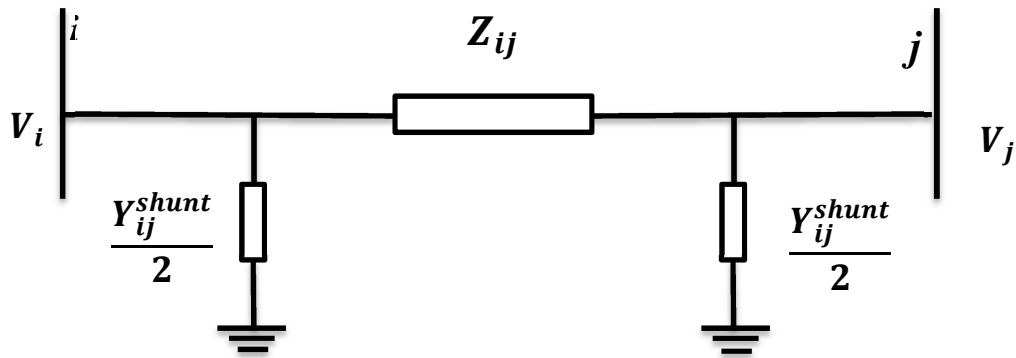


Figure I. 2 : Model d'une ligne de transmission en π .

Ce modèle est caractérisé par les paramètres suivants :

L'impédance série ou longitudinale par phase (Z) exprimée en (Ω) donnée par :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \quad (I.2)$$

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

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

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (I.3)$$

Où G_{ij} et B_{ij} sont, respectivement, la conductance et la susceptance capacitive shunts de la ligne entre les jeux de barres i et j .

I.2.3 Charge électrique

La charge électrique est souvent modélisée sous forme d'une puissance constante, qui consomme de la puissance active P_L et réactive Q_L constantes (figure I.3). Cette charge est connectée au réseau électrique de transport à travers un transformateur et représente souvent des postes de répartition (sous stations) qui alimentent des réseaux de distribution [1].

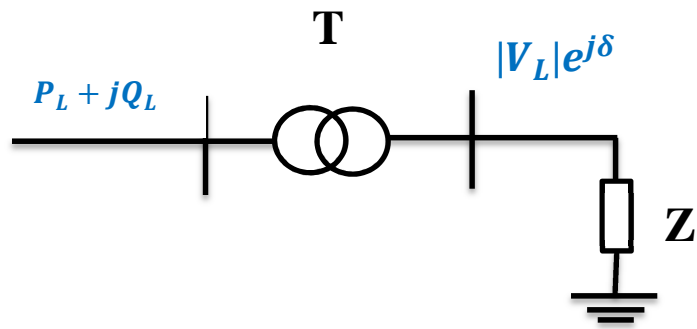


Figure I. 3 : Model d'une charge électrique.

I.2.4 Elément shunt

Les éléments shunt sont les batteries de condensateurs et les réactances (selfs) qui sont utilisés pour fournir ou absorber la puissance réactive afin d'obtenir un meilleur profil de tension [1].

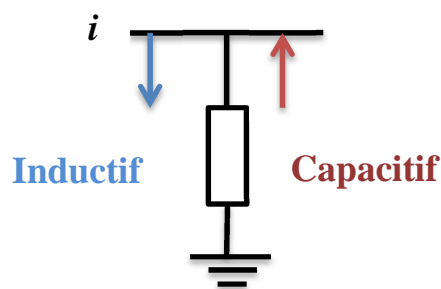


Figure I. 4 : Model de l'élément shunt

I.2.5 Les transformateurs à prise variable

Le model du transformateur d'énergie électrique est présenté sur la figure I.5.

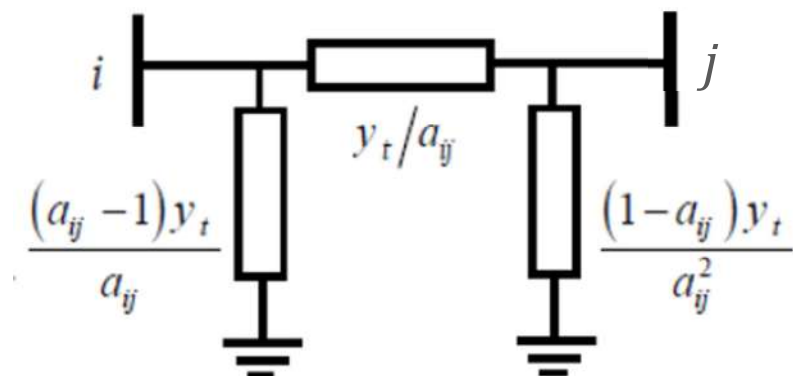


Figure I. 5 : Model du transformateur

La matrice d'admittance d'un transformateur inséré entre les nœuds i et j s'écrit:

$$Y = \begin{pmatrix} \frac{1}{a^2} y_{ij} & -\frac{1}{a} y_{ij} \\ -\frac{1}{a} y_{ij} & y_{ij} \end{pmatrix} \quad (I.4)$$

Avec :

- y_{ij} : l'admittance de la ligne $i - j$;
- a_{ij} : le rapport de réglage de charge .

I.3 Jeux de barres (Bus)

Chaque jeu de barres est caractérisé par quatre variables : P_i, Q_i, V_i, δ_i . Si on connaît deux des quatre variables nous pouvons de déterminer les deux autres à partir des équations principales de l'écoulement de puissance.

Les jeux de barres sont classés comme suit :

I.3.1 Jeux de barres de contrôle PV

Pour ce type de jeux de barres on associe les centrales de production. La puissance active et le module de la tension sont spécifiés, Les variables à déterminer sont la phase de la tension et la puissance réactive.

I.3.2 Jeux de barres de charge PQ

Pour ce type de jeux de barres, on associe généralement les charges. Ces dernières sont caractérisées par la consommation des puissances active et réactive. On peut aussi associer des générateurs avec des puissances active et réactive fixées. Les variables à déterminer sont le module et la phase de la tension.

I.3.3 Jeu de barre de référence

Pour ce type de jeux de barre, on associe la centrale de production la plus puissante. Dans un jeu de barre de référence on spécifie la phase et le module de la tension. Les valeurs à déterminer sont les puissances active et réactive.

I.4 Étude de l'écoulement des puissances

Le problème d'écoulement de puissance est résolu pour la détermination en régime permanent des tensions complexes au niveau des jeux de barres du réseau, à partir desquelles les transits des puissances actives et réactives dans chaque ligne et transformateur sont calculés. L'ensemble des équations représentant le réseau électrique est de nature non linéaire [2].

L'étude de l'écoulement de puissance est une étape essentielle pour l'étude et la conception des réseaux électriques. Cette étude est nécessaire pour :

- la planification au moyen ou long terme d'une future extension ;
- l'échange de puissance entre les centrales de production et le dispatching économique ;
- l'évaluation de la stabilité transitoire et dynamique ;
- l'estimation de l'état du réseau ainsi que la prise de mesure adéquate à d'éventuelle imprévue ;

I.5 Matrice d'admittance nodale

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

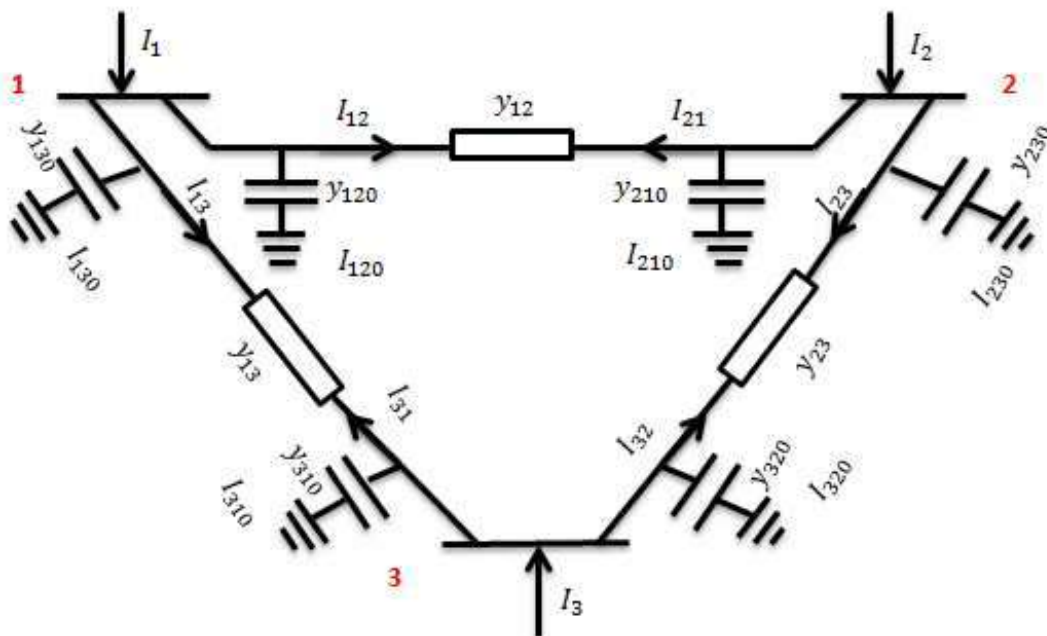


Figure I. 6 : Réseau électrique à 3 nœuds.

I.5.1 L'équation générale de l'admittance

$$I_1 = I_{120} + I_{130} + I_{12} + I_{13} \quad (I.5)$$

$$I_1 = V_1(y_{120} + y_{130}) + (V_1 - V_2)y_{12} + (V_1 - V_3)y_{13} \quad (I.6)$$

$$I_1 = V_1(y_{11} + y_{12} + y_{13}) - V_2y_{12} - V_3y_{13} \quad (I.7)$$

$$I_1 = V_1Y_{11} + V_2Y_{12} + V_3Y_{13} \quad (I.8)$$

$$Y_{11} = (y_{120} + y_{130}) + y_{12} + y_{13} \quad (I.9)$$

$$Y_{12} = -y_{12} \quad (I.10)$$

$$Y_{13} = -y_{13} \quad (I.11)$$

Par une procédure similaire on trouve les équations des courants nodaux pour les autres nœuds on peut écrire :

$$I_1 = V_1Y_{11} + V_2Y_{12} + V_3Y_{13} \quad (I.12)$$

$$I_2 = V_1Y_{21} + V_2Y_{22} + V_3Y_{23} \quad (I.13)$$

$$I_3 = V_1Y_{31} + V_2Y_{32} + V_3Y_{33} \quad (I.14)$$

Ces équations peuvent être écrites sous la forme matricielle ci-dessous :

$$[I] = [Y] \cdot [V] \quad (I.15)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (I.16)$$

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

$$I_i = \sum_{j=1}^3 Y_{im} \cdot V_j \quad i = 1, 2 \text{ et } 3 \quad (I.17)$$

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

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{im} \cdot V_j, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (I.18)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{I.19})$$

I.6 Formulation de Base de l'écoulement de puissance

I.6.1 Équations de l'écoulement de puissance

Dans le cas générale, pour déterminer les équations de l'écoulement de puissance, on considère que les puissances au jeu de barres i sont équilibrées, donc le bilan de puissance électriques à un jeu de barres i d'un réseau électrique de n jeu de barres est la différence entre la puissance générée S_{G_i} et la puissance demandée S_{D_i} ; au niveau de même jeu de barres [3].

$$S_i = S_{G_i} - S_{D_i} = (P_{G_i} - P_{D_i}) + j(Q_{G_i} - Q_{D_i}) \quad (\text{I.20})$$

La puissance apparente S_i injectée au jeu de barres i est donnée par l'équation :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad i = 1, 2 \dots n \quad (\text{I.21})$$

Le courant I_i peut se mettre sous la forme suivant :

$$I_i = \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| \angle (\theta_{im} + \delta_m) \quad (\text{I.22})$$

En remplaçant l'expression du courant, donc l'équation (I.21) peut d'écrire comme suit :

$$S_i^* = P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{m=1}^n |Y_{im}| |V_m| \angle (\theta_{im} + \delta_m) \quad (\text{I.23})$$

En séparant la partie réelle et la partie imaginaire de l'équation on aura les équations des puissances actives et réactives au jeu de barres i :

$$P_i = \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \quad i = 1, 2 \dots n \quad (\text{I.24})$$

$$Q_i = - \sum_{m=1}^n |V_i| |V_m| |Y_{im}| \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \quad i = 1, 2 \dots n \quad (\text{I.25})$$

1.6.2 Puissances transitées 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 son expression est la suivante :

$$I_{ik} = y_{ik}(V_i - V_k) + V_i y_{ik0} \quad (I.26)$$

- y_{ik} : L'admittance de la ligne entre les deux jeux de barres i et k ;
- y_{ik0} : L'admittance shunt de la branche $i k$.

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

$$I_{ki} = y_{ki}(V_k - V_i) + V_k y_{ki0} \quad (I.27)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^* I_{ik} \quad (I.28)$$

$$P_{ik} - jQ_{ik} = V_i^*(V_i - V_k)y_{ik} + V_i^* V_i y_{ik0} \quad (I.29)$$

$$P_{ki} - jQ_{ki} = V_k^*(V_k - V_i)y_{ik} + V_k^* V_k y_{ik0} \quad (I.30)$$

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 déterminée à partir des équations I.29 et I.30.

1.7 Résolution du problème d'écoulement de puissance

La résolution du problème de l'écoulement de puissance est réalisée en utilisant la méthode de Newton-Raphson. Cette méthode ne demande quelques itérations même pour les grands réseaux. Cependant, contrairement à la méthode de Gauss-Seidel, elle nécessite plus de temps de calcul par itération.

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

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{m=1}^n |V_i||V_m||Y_{im}| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \cdot \quad i = 1.2 \dots \dots \dots n \\ Q_i &= - \sum_{m=1}^n |V_i||V_m||Y_{im}| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \cdot \quad i = 1.2 \dots \dots \dots n \end{aligned} \right\} \quad (I.31)$$

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

$$\left\{ \begin{aligned} P_i &= P_i^{(0)} + \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta\delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta\delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta|V_2|^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \Delta|V_n|^{(0)} \\ Q_i &= Q_i^{(0)} + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta\delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta\delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta|V_2|^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \Delta|V_n|^{(0)} \end{aligned} \right. \quad (I.32)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_i^{(0)} &= P_i - P_i^{(0)} = \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta\delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta\delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta|V_2|^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \Delta|V_n|^{(0)} \\ \Delta Q_i^{(0)} &= Q_i - Q_i^{(0)} = \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} \Delta\delta_2^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} \Delta\delta_n^{(0)} + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} \Delta|V_2|^{(0)} + \dots + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \Delta|V_n|^{(0)} \end{aligned} \right. \quad (I.33)$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_2}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_n}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \\ \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|}\right)^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\delta_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta\delta_n^{(0)} \\ \Delta|V_2|^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta|V_n|^{(0)} \end{bmatrix} \quad (I.34)$$

Donc on peut écrire le système comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \begin{bmatrix} \Delta\delta^{(0)} \\ \Delta|V|^{(0)} \end{bmatrix} \quad (I.35)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta^{(0)} \\ \Delta|V|^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(0)} \\ \Delta Q^{(0)} \end{bmatrix} \quad (I.36)$$

Avec :

$$\Delta\delta_i^{(k)} = \delta_i^{(k+1)} - \delta_i^{(k)} \quad (I.37)$$

$$\Delta |V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k+1)} - |V_i|^{(k)} \quad (I.38)$$

Les équations (I.37 ,I.38) s'écrivent de:

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V_i|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_i^{(k)} \\ |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(k)} \\ \Delta |V_i|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (I.39)$$

$$\begin{bmatrix} \delta_i^{(k+1)} \\ |V_i|^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_i^{(k)} \\ |V_i|^{(k+1)} \end{bmatrix} + [J^{(k)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i^{(k)} \\ \Delta Q_i^{(k)} \end{bmatrix} \quad (I.40)$$

En remplaçant l'expression de l'équation (I.36) dans l'équation ci-dessus on aura :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (I.41)$$

Avec :

$$\begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (I.42)$$

J_1, J_2, J_3 et J_4 : sont les sous-matrices Jacobéennes.

Donc la Détermination de sous-matrices de Jacobéenne fait comme suit:

Sous matrice J_1 :

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

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

Sous matrice J_2 :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_m|} = |Y_{im}| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \quad i \neq m \quad (I.45)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|Y_{im}| |V_m| \cos(\theta_{im}) + \sum_{\substack{m=1 \\ i \neq m}}^N |Y_{im}| |V_m| \cos(\delta_{im} - \delta_i + \theta_m) \quad (I.46)$$

Sous matrice J_3 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m} = |Y_{im}| |V_i| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \quad i \neq m \quad (I.47)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{m=1 \\ i \neq m}}^n |Y_{im}| |V_i| |V_m| \cos(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \quad (I. 48)$$

Sous matrice J_4 :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|} = - |Y_{im}| |V_m| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) \quad i \neq m \quad (I. 49)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \sum_{\substack{m=1 \\ i \neq m}}^n |Y_{im}| |V_i| |V_m| \sin(\delta_m - \delta_i + \theta_{im}) - 2 |Y_{im}| |V_i| \sin(\theta_{im}) \quad (I. 50)$$

I.7.1 Algorithme de Newton-Raphson

- ✓ A partir des données du système, on construit la matrice d'admittance Y_{bus} .
- ✓ On estime les valeurs initiales $|V_i^{(0)}|$ et $\delta_i^{(0)}$ pour les nœuds de charge et $\delta_i^{(0)}$ pour les nœuds de contrôle.
- ✓ On calcule P_i , Q_i pour obtenir $\Delta P, \Delta Q$.
- ✓ Formation de la matrice Jacobéenne J .
- ✓ On trouve l'inverse de Jacobéenne.
- ✓ calcule :

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (I. 51)$$

On obtient :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (I. 52)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(k)} + \Delta |V_i|^{(k)} \quad (I. 53)$$

- ✓ Le processus se répète jusqu'à ce que la condition de convergence suivante se vérifie.

$$|\Delta P_i^k| \leq \varepsilon \quad (I. 54)$$

$$|\Delta Q_i^k| \leq \varepsilon \quad (I. 55)$$

- ✓ prend les résultats obtenus. (les puissances transitées et les pertes).

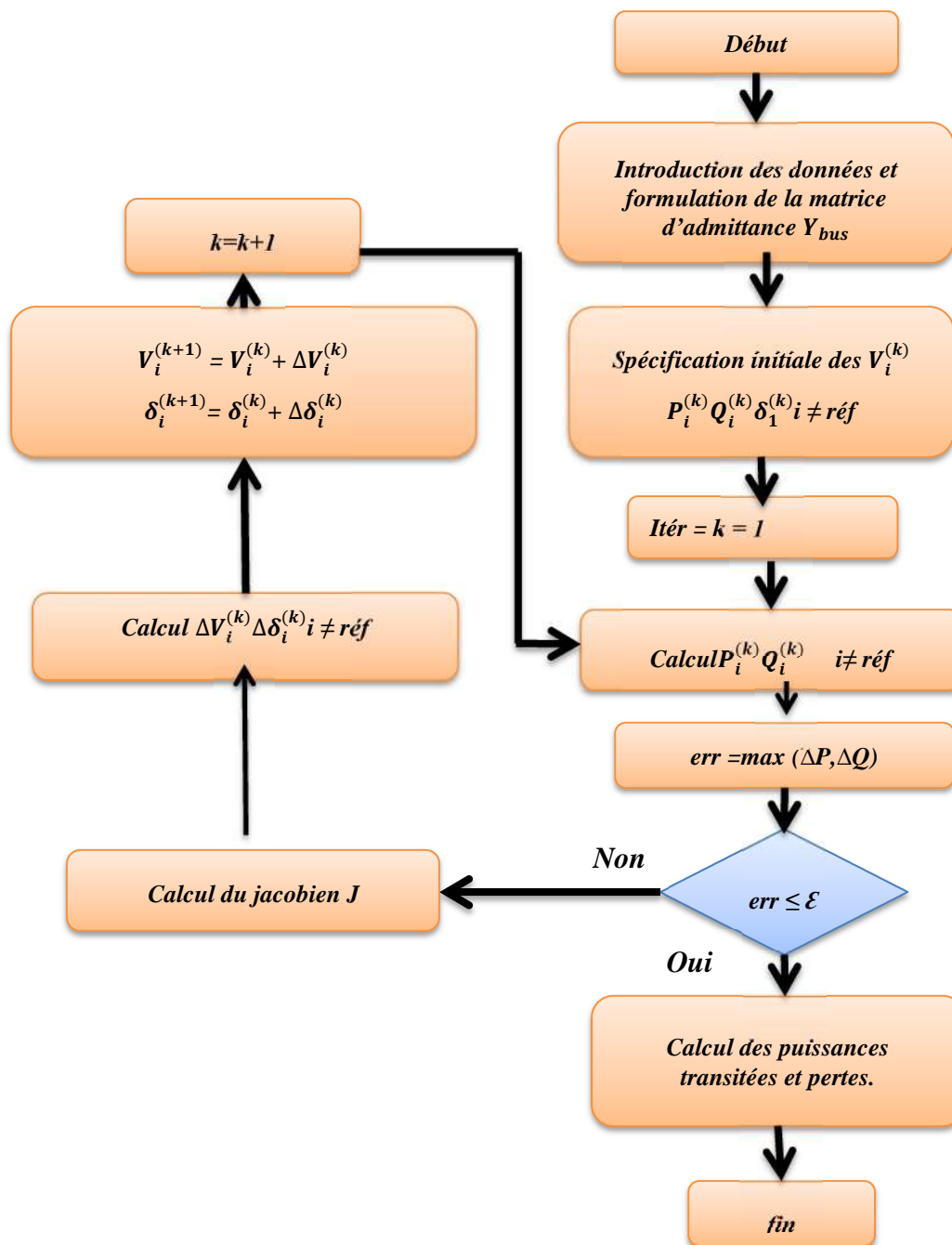


Figure I. 7 : Organigramme de la méthode de NETWON-RAPHSON

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons en premier lieu présenté les différents éléments de puissance du réseau. Nous avons ensuite décrits les équations qui régissent le problème de l'écoulement de puissance. La résolution de ce problème a été réalisée se basent sur la méthode de Newton-Raphson.

Cette méthode présente des avantages sur le temps de résolution et le nombre d'itération, qui sont beaucoup plus faibles que ceux de la méthode Gauss-Seidel dont le temps de résolution est proportionnel à la taille du réseau simulé.

CHAPITRE 11

Optimisation de l'écoulement de puissance

II.1 Introduction

L'optimisation de l'écoulement de puissance (OPF) est une opération assez importante pour un exploitant du réseau électrique. Elle consiste à trouver la combinaison optimale des variables d'état à savoir les consignes de tension et les paramètres des FACTS, les prises de transformateurs, l'état des réactances...etc. Cette combinaison optimale permet d'une part de minimiser les pertes par effet joule, le cout de production, ainsi que d'améliorer le profil et la stabilité de tension dans le système de puissance et d'une autre part de maximiser la sécurité d'exploitation.

Dans ce chapitre nous traitons l'écoulement optimal de puissance d'un réseau électrique. D'abord, nous présentons la formulation mathématique du problème d'optimisation sous forme d'une fonction objective à minimiser en respectant certaines contraintes. Ensuite, nous décrivons les méthodes méta heuristiques ou plusieurs classifications ont été présentées. En dernier, nous décrivons la méthode d'optimisation par l'essaim de particules qui est considéré comme l'une des méthodes les plus performantes parmi les méthodes méta heuristique existantes.

II.2 Écoulement de puissance optimal

Les ingénieurs se heurtent quotidiennement à des problèmes technologiques de complexité grandissante, qui surgissent dans des secteurs très divers, comme dans le traitement des images, la conception de systèmes mécaniques, la planification et l'exploitation des réseaux électriques...etc.

Le problème à résoudre peut fréquemment être exprimé sous la forme générale d'un problème d'optimisation, dans lequel on définit une fonction objective qu'on cherche à minimiser ou à maximiser. Le problème d'optimisation est souvent complété par des contraintes, tous les paramètres (ou variables de décisions) de la solution proposée doivent respecter ces contraintes, faute de quoi la solution n'est pas réalisable [4].

Le problème de puissance optimale (OPF) est un problème d'optimisation non linéaire, proposé par Carpentier au début des années 1960 et basé sur la répartition économique de la puissance [5]. En plus de l'aspect économique. L'opération optimale de l'écoulement de puissances permet d'assurer la sécurité des limites des générateurs et une bonne transmission de puissances. Des efforts immenses ont été faits dans le but d'apporter une solution radicale au problème d'optimisation de la répartition de puissances. La complexité et le dimensionnement des données du problème ont abouti à un système non linéaire d'ordre élevé. La résolution de ce dernier a poussé plusieurs chercheurs à trouver des méthodes plus simples et rapides afin d'améliorer leur

convergence, réduire le temps d'exécution et économiser une bonne partie de la mémoire de l'ordinateur [6].

II.3 Optimisation des puissances réactives

Généralement, l'écoulement optimal de puissance réactive vise comme principaux objectifs : la réduction des pertes et des coûts de production, l'amélioration de la qualité et fiabilité du système en maintenant les tensions dans leurs limites permises ainsi que l'augmentation de la marge de sécurité du système. Le problème de l'écoulement optimal de puissance qui représente une optimisation non linéaire, s'est basé dès le début des premières études sur le problème de la répartition économique de la puissance

Durant les deux dernières décennies, beaucoup d'efforts ont été consacrés au développement des méthodes mathématiques pour la résolution du problème d'optimisation de la puissance réactive, dont la complexité se caractérise par [7] :

- Des configurations complexes et de grande dimension des réseaux électriques ;
- Des relations non linéaires entre les niveaux de tension et les puissances réactives générées ;
- Des caractéristiques non linéaires de charges ;
- La nature discrète des capacités estimées des compensateurs ;
- L'exigence de ressources de puissance réactive ajustable correspondant à la variation de la charge.

Pour étudier le problème de la répartition optimale des puissances réactives, la programmation mathématique met à notre disposition des algorithmes de résolution, soit pour l'optimisation linéaires sous contraintes linéaires, soit pour l'optimisation des fonctions non linéaires avec ou sans contraintes. Ce problème peut être résolu par plusieurs techniques [8,9], à savoir :

- Le contrôle des tensions en temps réel ;
- La minimisation des pertes actives ;
- La maximisation des réserves de puissance réactive en les distribuant uniformément entre les générateurs de production ;
- L'optimisation et la localisation du volume des moyens de compensation de puissance réactive de telle sorte que les limites des tensions seront respectées.

II.4 Formulation mathématique du problème

II.4.1 Fonction objective

L'objectif principal du problème de l'écoulement optimal de puissance réactive est de minimiser une fonction objective qui peut être : minimiser les pertes actives minimiser le cout de production, améliorer le profil de tension et améliorer la stabilité de la tension dans le réseau électrique et maintenir les tensions dans leurs limites permises tout en satisfaisant un ensemble de contraintes égalité et inégalité.

La fonction objective peut être écrite sous la forme suivante :

$$J = \min f(X, U) \quad (\text{II. 1})$$

$$X_{\min} \leq X \leq X_{\max}$$

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max}$$

Avec :

- U : Vecteur des variables indépendantes ou des variables de contrôle ;
- X : Vecteur des variables dépendantes ou variables d'état ;
- f : la fonction objectif à minimiser ;

Le vecteur X peut être exprimé comme [10]:

$$X^T = [P_{G_1}, V_{L_1}, \dots, V_{L_{N_L}}, Q_{G_1}, \dots, Q_{G_{N_G}}, S_{l_1}, \dots, S_{l_{n_l}}] \quad (\text{II. 2})$$

Et le vecteur U comme peut être exprimé :

$$U^T = [V_{G_1}, \dots, V_{G_{N_G}}, P_{G_1}, \dots, P_{G_{N_G}}, T_1, \dots, T_{N_T}, Q_{C_1}, \dots, Q_{C_{N_C}}] \quad (\text{II. 3})$$

Avec :

- P_{G_1} : puissance active sur le slack bus ;
- V_L : amplitude de la tension au bus PQ, les bus de charge ;
- Q_G : puissance réactive des générateurs ;
- S_l : puissance apparente qui transite dans les lignes de transmission ;
- N_T : nombre de transformateurs de réglage de dérivation ;
- N_C : nombre de compensateurs ;
- N_L : nombre des bus de charge ;
- N_G : nombre des générateurs ;
- n_l : nombre de lignes de transmission ;

- T : rapport de régleur de charge de transformateurs ;

II.4.2 Contraintes

Les contraintes imposées sur la fonction objective à optimiser peuvent être classés en contraintes d'égalité et en contraintes d'inégalité. Les contraintes égalités représentent les équations de l'écoulement de puissance :

Les limites sur les tensions, sur les puissances réactives des générateurs ou des compensations shunts ainsi que les limites sur les rapports des régleurs en charge constituent les contraintes inégalités.

La formulation des contraintes en peut écrire comme suivante :

$$\begin{cases} G(X, U) = 0 \\ H(X, U) \leq 0 \end{cases} \quad (\text{II. 4})$$

Avec :

- G : ensemble des contraintes d'égalités ;
- H : ensemble des contraintes d'inégalités.

II.4.2.1 Contraintes d'égalité

Les contraintes d'égalité de l'OPF reflètent la physique du système d'alimentation. La physique du système d'alimentation électrique est représentée par les équations de l'écoulement de puissance typiques. Ces contraintes d'égalité sont les suivantes.

Contraintes de la puissance active

$$P_{G_i} - P_{D_i} - V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad i = 1, 2 \dots n \quad (\text{II. 5})$$

Contraintes de la puissance réactive

$$Q_{G_i} - Q_{D_i} - V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \quad i = 1, 2 \dots n \quad (\text{II. 6})$$

II.4.2.2 Contraintes d'inégalité

Les contraintes d'inégalité de l'OPF reflètent les limites des dispositifs physiques présents dans le système d'alimentation ainsi que les limites créées pour garantir la sécurité du système. Ces contraintes d'inégalité sont les suivantes [10].

Contraintes De Génération

Pour tous les générateurs, y compris le jeu de barres de référence la tension, les puissances active et réactive devrait être restreintes par les limites inférieures et supérieures comme suit [10]:

$$V_{G_i}^{min} \leq V_{G_i} \leq V_{G_i}^{max} \quad i=1 \dots N_G \quad (\text{II. 7})$$

$$Q_{G_i}^{min} \leq Q_{G_i} \leq Q_{G_i}^{max} \quad i=1 \dots N_G \quad (\text{II. 8})$$

$$P_{G_i}^{min} \leq P_{G_i} \leq P_{G_i}^{max} \quad i=1 \dots N_G \quad (\text{II. 9})$$

Contraintes sur les Transformateurs

Les rapports de réglage de charge des transformateurs sont délimités comme suit:

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max} \quad i=1 \dots N_t \quad (\text{II. 10})$$

Contraintes Compensations Shunt

Les compensateurs shunts sont restreints par les limites de la manière suivante:

$$Q_{C_i}^{min} \leq Q_{C_i} \leq Q_{C_i}^{max} \quad i=1 \dots N_c \quad (\text{II. 11})$$

Contraintes de sécurité

Les contraintes de sécurité incluent les contraintes de tensions aux bus de charge et les charges de lignes de transmission comme suit:

$$V_{L_i}^{min} \leq V_{L_i} \leq V_{L_i}^{max} \quad i=1 \dots N_L \quad (\text{II. 12})$$

$$S_{L_i} \leq S_{L_i}^{max} \quad i=1 \dots N_L \quad (\text{II. 13})$$

Par conséquent, la fonction objective peut être augmentée comme suit [10]:

$$J_{aug} = J + \lambda_p (P_{G_i} - P_{G_i}^{lim})^2 + \lambda_v \sum_{i=1}^{N_L} (V_{L_i} - V_{L_i}^{lim})^2 + \lambda_Q \sum_{i=1}^{N_G} (Q_{G_i} - Q_{G_i}^{lim})^2 + \lambda_s \sum_{i=1}^{n_l} (S_{L_i} - S_{L_i}^{max})^2 \quad (\text{II. 14})$$

Où $\lambda_p, \lambda_v, \lambda_Q, \lambda_t, \lambda_c$ et λ_s sont des facteurs de pénalité et X^{lim} est la valeur limite de la variable dépendante X . Donc on peut écrire: [10].

$$X^{lim} = \begin{cases} X^{max} & \text{si } X > X^{max} \\ X^{min} & \text{si } X < X^{min} \end{cases} \quad (\text{II. 15})$$

Où

- N : Nombre total de nœuds ;
- N_t : Nombre de transformateurs ;
- V_i : Amplitude de tension au nœud i ;
- δ_i : Déphasage de la tension au nœud i , $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$;
- P_{G_i}, Q_{G_i} : Puissances active et réactive générées ;
- P_{D_i}, Q_{D_i} : Puissances active et réactive demandées ;
- G_{ij} : Conductance mutuelle entre les nœuds i et j ;
- B_{ij} : Susceptance mutuelle entre les nœuds i et j ;
- $V_{G_i}^{min}, V_{G_i}^{max}$: Limites sur les tensions au nœud générateur i ;
- $Q_{G_i}^{min}, Q_{G_i}^{max}$: Limites sur les puissances réactives au nœud générateur i ;
- $Q_{C_i}^{min}, Q_{C_i}^{max}$: Limites sur la capacité du compensateur installé au nœud i ;
- T_i^{min}, T_i^{max} : Limites sur le rapport du régleur en charge au nœud i .

II.5 Méthodes méta heuristiques

Depuis une décennie, les chercheurs ont tenté de résoudre les problèmes d'optimisation non linéaires qui sont très difficiles, d'une façon la plus efficace possible. Pendant longtemps, la recherche s'est orientée vers la proposition d'algorithmes exacts pour des cas particuliers polynomiaux. Ensuite, l'apparition des heuristiques a permis de trouver des solutions en générale de bonne qualité pour résoudre les problèmes mais souvent pour des instances de petite taille.

Lorsque les premières méthodes méta heuristiques ont été conçues [11, 12, 13,14], beaucoup de chercheurs se sont lancés dans leur utilisation. Cela a conduit à une avance importante pour la résolution pratique de nombreux problèmes et a même créé un engouement pour le développement de ces méthodes. Ainsi, des équipes entières se sont constituées pour se spécialiser au développement des métras heuristiques. Ce qui a permis de les reconnaître comme un outil efficace pour la résolution de nombreux problèmes posés.

Toutes les métaheuristiques s'appuient sur un équilibre entre une intensification de la recherche et la diversification de celle-ci. D'un côté, l'intensification permet de rechercher des solutions de meilleure qualité en s'appuyant sur les solutions déjà trouvées. Tandis que la diversification met en place des stratégies qui permettent d'explorer un plus grand espace de solutions et d'échapper à des minima locaux (manque de diversification) ou à une exploration trop longue (manque d'intensification).

II.5.1 Définitions et descriptions

II.5.1.1 Heuristique

Le mot « heuristique » vient du grec « Heuriskein »: signifie trouver ou découvrir. Une heuristique est l'utilisation de règles empiriques, pratiques, simples et rapides qui facilitent la recherche des faits et l'analyse de situation [15,16].

L'heuristique est une méthode approchée dédiée à un problème, qui tente d'exploiter au mieux sa structure par des critères de décision déduits de la connaissance du problème, pour trouver une solution efficace en un temps raisonnable [17,18].

II.5.1.2 Méta heuristiques

Le mot « méta heuristique » est composé d'un suffixe « méta » qui signifie niveau supérieur et du mot heuristique. Donc, le terme méta heuristique signifie trouver un niveau supérieur ou un niveau meilleur de recherche.

Les métaheuristiques sont des algorithmes stochastiques [19], qui progressent vers un optimum par échantillonnage d'une fonction objective. Ils constituent des méthodes génériques pouvant traiter une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé [11]. Les métaheuristiques constituent une classe de méthodes approchées adaptables à un très grand nombre de problèmes combinatoires et de problèmes d'affectation sous contraintes.

Elles ont révélé leur grande efficacité pour fournir des solutions approchées de bonne qualité pour un grand nombre de problèmes d'optimisation classiques et d'applications réelles de grande taille. C'est pourquoi l'étude de ces méthodes est actuellement en plein développement. Il ressort de ces définitions que les heuristiques sont fondamentalement des moyens de résolution spécifiques au problème donné. Les métaheuristiques, en revanche, peuvent d'avantage être interprétées comme

des principes d'optimisation que comme des méthodes proprement dites. En ce sens, on peut établir un parallèle avec les langages et métalangages.

Les métaheuristiques présentent un degré supplémentaire d'abstraction par rapport aux heuristiques dans la mesure où leur instanciation, pour un problème donné, peut s'apparenter à une heuristique [11].

II.5.2 Classifications possibles du méta heuristique

Dans la littérature [11, 20, 21], plusieurs types de classification des métaheuristiques ont été proposés. On peut les classer selon qu'elles s'inspirent de phénomènes naturels ou ne s'en inspirent pas. Par exemple, les algorithmes génétiques et les algorithmes des fourmis s'inspirent respectivement de la théorie de l'évolution et du comportement de fourmis à la recherche de nourriture. Par contre, la méthode Taboue n'a semble-t-il pas été inspirée par un phénomène naturel. Une telle classification ne semble cependant pas très utile et est parfois difficile à réaliser.

Une autre façon de classer les métaheuristiques est de distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution à la fois. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution sont appelées méthodes de recherche locale.(de voisinage) La méthode Taboue, le Recuit Simulé sont des exemples typiques de méthodes à recherche locale. Les algorithmes génétiques et l'optimisation par essaims de particules sont les exemples les plus connus de méthodes à population de solutions [22, 23].

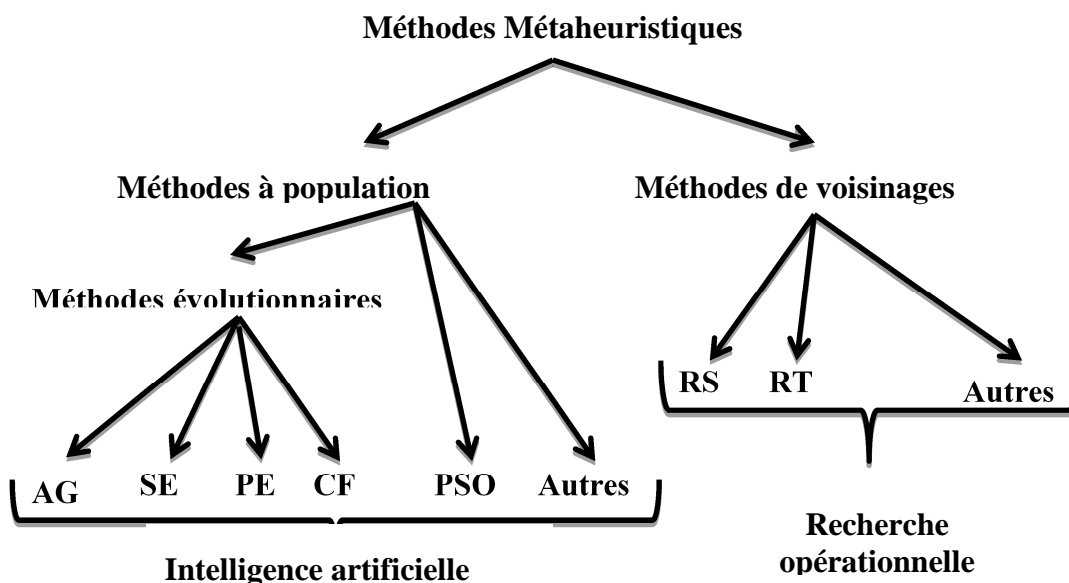


Figure II. 1 : Classification des métaheuristique

Où :

- CF : Colonie de Fourmies ;
- AG : Algorithmes Génétique ;
- SE : Stratégies d'Evolution ;
- PE : Programmation Evolutionnaire ;
- OEP : Optimisation par Essaim de Particules ;
- RS : Recuit Simulé ;
- RT : Recherche Taboue.

Les méta heuristiques peuvent également être classées selon leur manière d'utiliser la fonction objective. Le fait que le problème d'optimisation consiste à minimiser une fonction (f) sur un espace (S) de solutions, donc, certaines méta heuristiques dites statiques travaillent directement sur (f) alors que d'autres, dites dynamiques, font usage d'une fonction (g) obtenue à partir de (f) en ajoutant quelques composantes qui permettent de modifier la topologie de l'espace des solutions. Ces composantes additionnelles peuvent varier durant le processus de recherche.

Des chercheurs préfèrent classer les métaheuristiques en fonction du nombre de structures de voisinages utilisées. Étant donné qu'un minimum local, relativement à un type de voisinage n'est pas forcément pour un autre type de voisinage, il peut être intéressant d'utiliser des métaheuristiques basées sur plusieurs types de voisinages.

Certaines méta heuristiques font usage de l'historique de la recherche au cours de l'optimisation, alors que d'autres n'ont aucune mémoire du passé. Les algorithmes sans mémoire sont en fait des processus markoviens puisque l'action à réaliser est totalement déterminée par la situation courante. Les méta heuristiques qui font usage de l'historique de la recherche peuvent le faire de diverses manières. On différencie généralement les méthodes ayant une mémoire à court terme de celles qui ont une mémoire à long terme. Finalement, mentionnons que certains méta heuristiques utilisent les concepts additionnels que sont la diversification et l'intensification. Par diversification, on sous-entend généralement une exploration assez large de l'espace de recherche, alors que le terme intensification vient plutôt mettre l'accent sur l'exploitation de l'information accumulée durant la recherche. Il est important de bien doser l'usage de ces deux ingrédients afin que l'exploration puisse rapidement identifier des régions de l'espace de recherche qui contiennent des solutions de bonne qualité, sans perdre trop de temps à exploiter des régions moins prometteuses [19, 24].

II.5.2.1 Méta heuristiques à base de population

Les méthodes de recherche à population, comme leur nom l'indique, travaillent sur une population de solutions et non pas sur une solution unique. On peut trouver d'autres noms généralement pour ces méthodes, la plus en vogue étant sans doute la méthode basée sur les algorithmes évolutionnaires [25].

Le principe généralement de toutes ces méthodes consiste à combiner des solutions entre elles pour en former de nouvelles en essayant d'hériter des bonnes caractéristiques des solutions parents. Un tel processus est répété jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit satisfait (nombre de génération maximum, nombre de génération sans améliorations, temps maximum, borne atteinte, etc.). Parmi ces algorithmes à population, on retrouve deux grandes classes qui sont les algorithmes évolutionnaires et la méthode des essais de particules.

II.5.2.2 Méthodes évolutionnaires

Les algorithmes évolutionnaires sont une famille d'algorithmes dont le principe s'inspire de la théorie de l'évolution pour résoudre des problèmes divers. L'idée est de faire évoluer un ensemble de solutions à un problème donné, dans l'optique de trouver les meilleurs résultats. La majorité de ces méthodes sont utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation. [26].

C'est une méthode itérative qui utilise des opérateurs de variations stochastiques sur un "pool" d'individu (la population). Chaque individu de la population représente une version encodée (solution) du problème. Au départ, cette population initiale est engendrée aléatoirement. À chaque génération/itération de l'algorithme, les solutions sont sélectionnées, rassemblées en paires et recombinaison afin de produire de nouvelles solutions qui remplaceront les "moins bonnes" selon un certain critère, et ainsi de suite. Une fonction d'évaluation associe une valeur d'adaptation (fitness) à chaque individu dans le but de déterminer sa pertinence par rapport au problème (critère de sélection)[27].

Ces méthode a été appliquée avec succès à une large de problème réels et complexes .parmi ces méthodes : l'algorithme génétique , recuit simulé ,recherche tabou et colonies de fourmies...etc .

II.6 Optimisation par essaim de particules

L'optimisation par essaim de particules (PSO) est une technique d'optimisation parallèle développée par Kennedy et Eberhart, en s'inspirant du comportement social des individus qui ont tendance à imiter les comportements d'ensemble qu'ils observent dans leur entourage (des oiseaux

s'assemblant en nuées, des bancs de poissons sous l'eau ou des essaims d'abeilles dans leur déplacement), tout en y apportant leurs variations personnelles. PSO présente beaucoup de similitudes avec les techniques de calcul évolutionnaire comme les algorithmes génétiques (AG). la différence d'autres techniques heuristiques, PSO a un mécanisme flexible et bien équilibré pour augmenter et s'adapter aux capacités d'exploration globale et locale. Cependant, à la différence des algorithmes génétiques, qui miment les mécanismes génétiques de l'évolution, PSO ne comporte aucun opérateur d'évolution tel que le croisement ou la mutation, cet algorithme s'inspirant plutôt de la formation d'une culture [28].

L'initialisation de l'algorithme PSO se fait par une population de solutions potentielles aléatoires, interprétées comme des particules se déplaçant dans l'espace de recherche. Chaque particule est attirée vers sa meilleure position atteinte par le passé P_{best} ainsi que vers la meilleure position atteinte par les particules de tout l'essaim G_{best} .

L'algorithme PSO comprend plusieurs paramètres de réglage qui permettent d'agir sur le compromis exploration – exploitation. L'exploration est la capacité de tester différentes régions de l'espace à la recherche de bonnes solutions candidates. L'exploitation est la capacité de concentrer la recherche autour des solutions prometteuses afin de s'approcher le plus possible de l'optimum.

L'optimisation des essaims de particules (PSO) est un algorithme d'optimisation intelligent basé sur l'intelligence essaim. Il est basé sur un modèle mathématique simple, développé par Kennedy et Eberhart en 1995, pour décrire le comportement social des oiseaux et des poissons. Le modèle repose principalement sur les principes de base de l'auto-organisation, utilisés pour décrire la dynamique de systèmes complexes.

L'intelligence essaim est la capacité de tels systèmes à atteindre un niveau d'intelligence plus élevé, ce qui est absolument inaccessible pour aucune des unités du système. Par exemple, une volée d'oiseaux en tant que société a des comportements très complexes, ce qui dépasse le niveau d'intelligence de l'un des oiseaux du troupeau, bien sûr. Cependant, ces modèles complexes sont créés via des tâches simples et répétitives, effectuées par l'un des membres du groupe.

PSO utilise un modèle de comportement social très simplifié pour résoudre les problèmes d'optimisation, dans un cadre coopératif et intelligent. PSO est l'une des méta heuristiques les plus utiles et les plus célèbres et est appliquée avec succès à divers problèmes d'optimisation.

II.6.1 Concept de base

A travers la coopération et la compétition parmi les solutions potentielles, l'heuristique OEP est motivée par la simulation du comportement social. Dans cette technique, pour la génération initiale ($k = 0$), une population initiale (de taille N) constituée d'un ensemble de solutions S_i^0 est aléatoirement choisie dans le domaine de la fonction f à minimiser, et chacune des particules aura une position S_i^k et une vitesse V_i^k . un essaim de particule est caractérisé par :

- ✓ le nombre de particules de l'essaim, noté nb .
- ✓ la vitesse maximale d'une particule, notée V_{max} .
- ✓ la topologie et la taille du voisinage d'une particule qui définissent son réseau social
- ✓ l'inertie d'une particule, notée w .
- ✓ e) les coefficients de confiance, notés r_1 et r_2 , qui pondèrent le comportement conservateur (ie. la tendance à retourner vers la meilleure solution visitée) et le panurgisme (ie. la tendance à suivre le voisinage).

Une particule est caractérisée par plusieurs attributs:

- ✓ **sa position actuelle:** c'est-à-dire ses coordonnées dans l'ensemble de définition et la valeur de la fonction objective lui correspondant.
- ✓ **sa meilleure position :** c'est la valeur obtenue par la particule et ses coordonnées.
- ✓ **sa vitesse:** cette donnée, recalculée à chaque itération de l'algorithme permet de déduire la position suivante de la particule. Elle est fonction de la meilleure position de la particule depuis le début de la recherche, du voisin le mieux positionné à l'instant actuel et de la vitesse précédente de la particule.
- ✓ **ses voisins:** c'est un ensemble de particule qui influe sur ses déplacements, en particulier celui qui est le mieux positionné.

A chaque génération k , la fonction d'adaptation f de chaque position X_i^k est calculée. Si P_{best} désigne la meilleure position de la particule i dans sa vie passée, il faut choisir la meilleure position globale G_{best} de l'ensemble du groupe "leader du groupe", de telle sorte que les règles de mise à jour soient [10]:

$$V_i^{k+1} = w V_i^k + c_1 rand_1 \times (P_{best,i} - X_i^k) + c_2 rand_2 \times (G_{best} - X_i^k) \quad (\text{II. 14})$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (\text{II. 15})$$

Où :

- V_i^{k+1} : vitesse du particule i à l'itération $k+1$;
- w : coefficient d'inertie ;
- c_i : coefficient d'accélération ;
- $rand_i$: nombre aléatoire entre 0 et 1 ;
- X_i^k : position actuelle de la particule i à l'itération k ;
- P_{best} : meilleur position du particule i ;
- $G_{best,i}$: meilleur position de l'ensemble des particules.

$rand_1$ et $rand_2$, sont des nombres aléatoires compris entre 0 et 1 introduit dans le but d'avoir d'obtenir une meilleur position des particules [3].

Nous remarquons à partir des équations II.14 et II.15 que d'une itération à l'autre, chaque particule se déplace selon une règle qui dépend de trois facteurs décrits par les termes suivants. Le premier terme de la sommation représente l'inertie ou l'habitude (la particule se déplace dans la même direction que précédemment). Le deuxième terme représente la mémoire (la particule est attirée par le meilleur point dans sa trajectoire), alors que le troisième représente la coopération ou l'échange d'information (la particule est attirée par le meilleur point trouvé par toutes les particules). La figure II.2 montre un concept de la modification d'un point de recherche par PSO où chaque particule change sa position actuelle en tenant compte des différents facteurs.

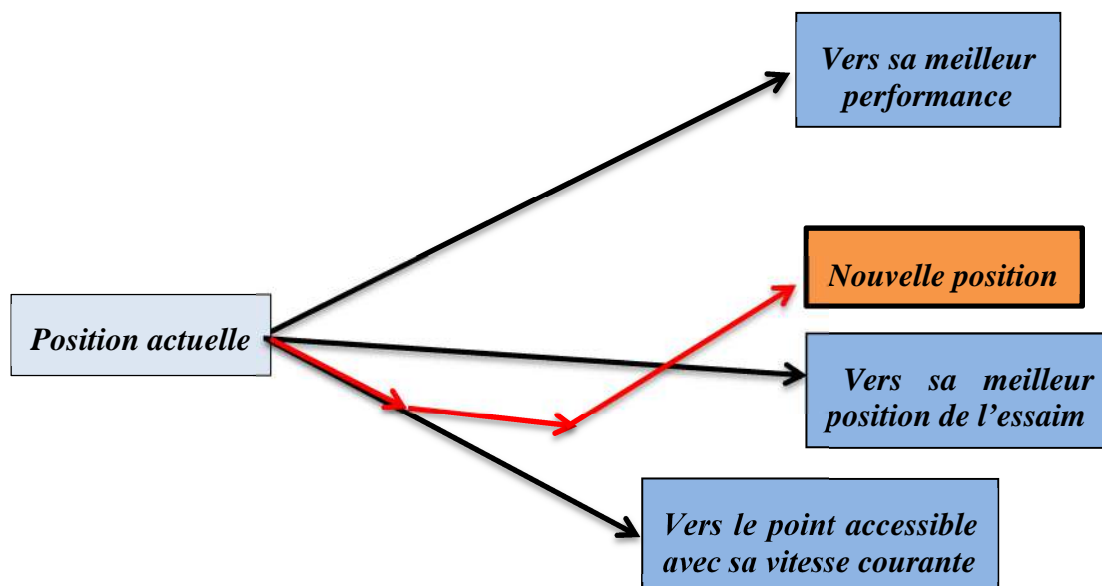


Figure II. 2 : Concept de modification d'un point de recherche par l'PSO

Le coefficient d'inertie de l'équation (II. 14) s'écrit [29]:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (II. 16)$$

Où :

- w_{max} : valeur initiale du coefficient d'inertie;
- w_{min} : valeur finale du coefficient d'inertie ;
- $iter_{max}$: nombre maximal d'itérations ;
- $iter$: nombre actuel d'itérations.

II.6.2 Algorithme de PSO

L'algorithme général de l'optimisation par la méthode PSO peut être décrit comme suit :

Etape 1 : Génération d'état initial de chaque particule

Les points de recherche initiaux, position (X_i^0) et vitesse (V_i^0), de chaque particule sont habituellement produits aléatoirement dans les limites permises. Le point de recherche courant est placé à p_{best} pour chaque particule. La meilleure valeur évaluée de P_{best} est placée à G_{best} .

Etape 2: Evaluation de recherche du point de chaque particule

La valeur de la fonction objective est calculée pour chacune des particules. Si la valeur d'une particule est meilleure que son p_{best} courant, p_{best} prend cette nouvelle valeur. Si la meilleure valeur de P_{best} est meilleure que G_{best} . Courant, G_{best} est remplacé par cette meilleure valeur et le numéro de la particule qui correspond à cette meilleure valeur est ainsi stocké et mémorisé.

Etape 3: Modification de chaque point de recherche

Le point de recherche courant de chaque particule est modifié en utilisant les équations (II. 14) et (II. 15)

Etape 4: Vérification du critère d'arrêt

Si le nombre actuel d'itérations atteint le nombre maximal d'itérations prédéterminé, alors sortir. Autrement, revenir à l'étape 2 et réitérer le processus.

L'organigramme général de la méthode PSO illustré par la figure II3

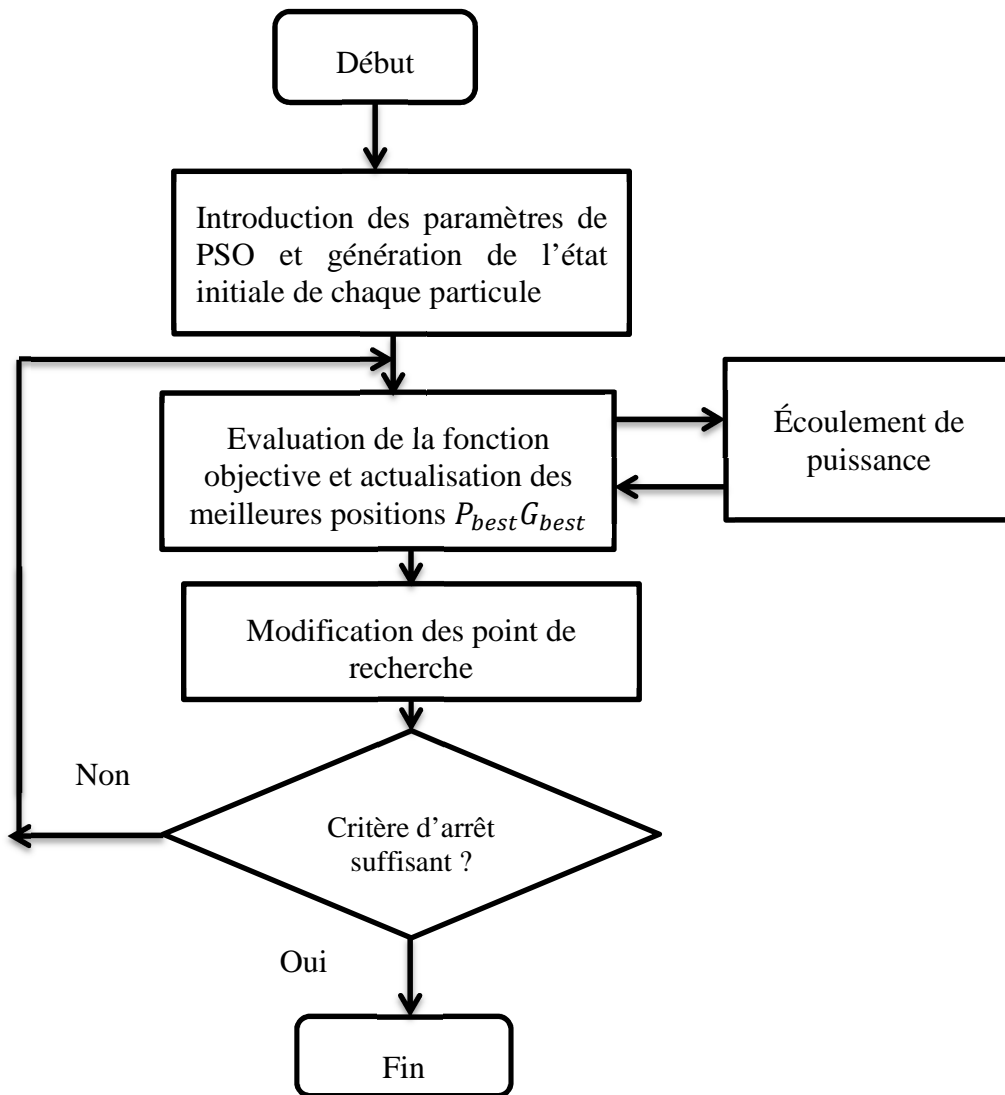


Figure II. 3 : Organigramme général de PSO

II.6.3 PSO multi-objectif

L'optimisation des essaims de particules multi-objectifs (MOPSO) est proposée par Coello [30].

Tout comme PSO, les particules dans MOPSO partagent des informations et se dirigent vers les meilleures particules globales et leur meilleure mémoire personnelle (locale). Cependant, contrairement à PSO, il existe plusieurs critères pour déterminer et définir le meilleur (global ou local). Toutes les particules non dominées de l'essaim sont rassemblées dans un sous-essaim appelé dépôt, et chaque particule choisit sa meilleure cible globale parmi les membres de ce dépôt. Pour la meilleure particule personnelle (locale), une règle basée sur la domination et probabiliste est utilisée.

II.7 Conclusion

Le problème de l'écoulement optimal de puissance est représenté mathématiquement par une fonction objective à minimiser. Les méthodes méta heuristique sont les méthodes les plus rependus dans la résolution des problèmes d'optimisation qui sont généralement non linéaires. Elles permettent d'avoir le point optimum da la fonction objective étudiée d'une manière plus efficace et plus rapide.

La méthode d'optimisation par l'essaim des particules est la méthode méta heuristique la plus utilisée pour résoudre un problème d'optimisation dans le principe est inspiré des comportements social des individus.

CHAPITRE III

Application et résultats de simulation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons résoudre un problème d'écoulement optimal de la puissance réactive. L'approche utilisée emploie la technique d'essaim de particules (PSO). Cette méthode a été appliquée avec succès à de nombreux problèmes d'optimisation et il a été démontré que son utilisation conduit à de très bons résultats d'une manière plus rapide et plus efficace, comparativement à d'autres méthodes telles que les algorithmes génétiques, recherche tabou, colonies de fourmis...etc.

En effet, le problème d'optimisation appliquée dans notre travail consiste à minimiser les pertes actives dans un réseau standard IEEE à 30 jeux de barres dont les paramètres de contrôle sont les amplitudes des tensions des différents générateurs, les rapports des transformateurs ainsi que les puissances réactives injectées par les condensateurs shunts. L'ensemble des programmes de notre étude sont réalisés à l'aide du logiciel MATLAB.

III.2 Réseau électrique testé

Le réseau électrique testé est le réseau standard IEEE à 30 jeux de barres dont la topologie unifilaire est représentée par la figure. III.1 est constitué de :

- ✓ 30 bus ;
- ✓ 41 branches ;
- ✓ Six générateurs au niveau des bus 1, 2, 5, 8, 11 et 13 ;
- ✓ Quatre transformateurs entre les jeux de barre 6-9, 6-10, 4-12, et 28 -27 ;
- ✓ Deux bancs de condensateurs implantés aux bus 10 et 24.

Le tableau ci-dessous regroupe les paramètres des transformateurs

Tableau III. 1 : Rapports de transformation entre les lignes

Le transformateur	Le rapport de transformation
6-9	0.978
6-10	0.969
4-12	0.932
28 -27	0.968

La figure ci-dessous représente le schéma unifilaire de réseau standard IEEE à 30 jeux de barres.

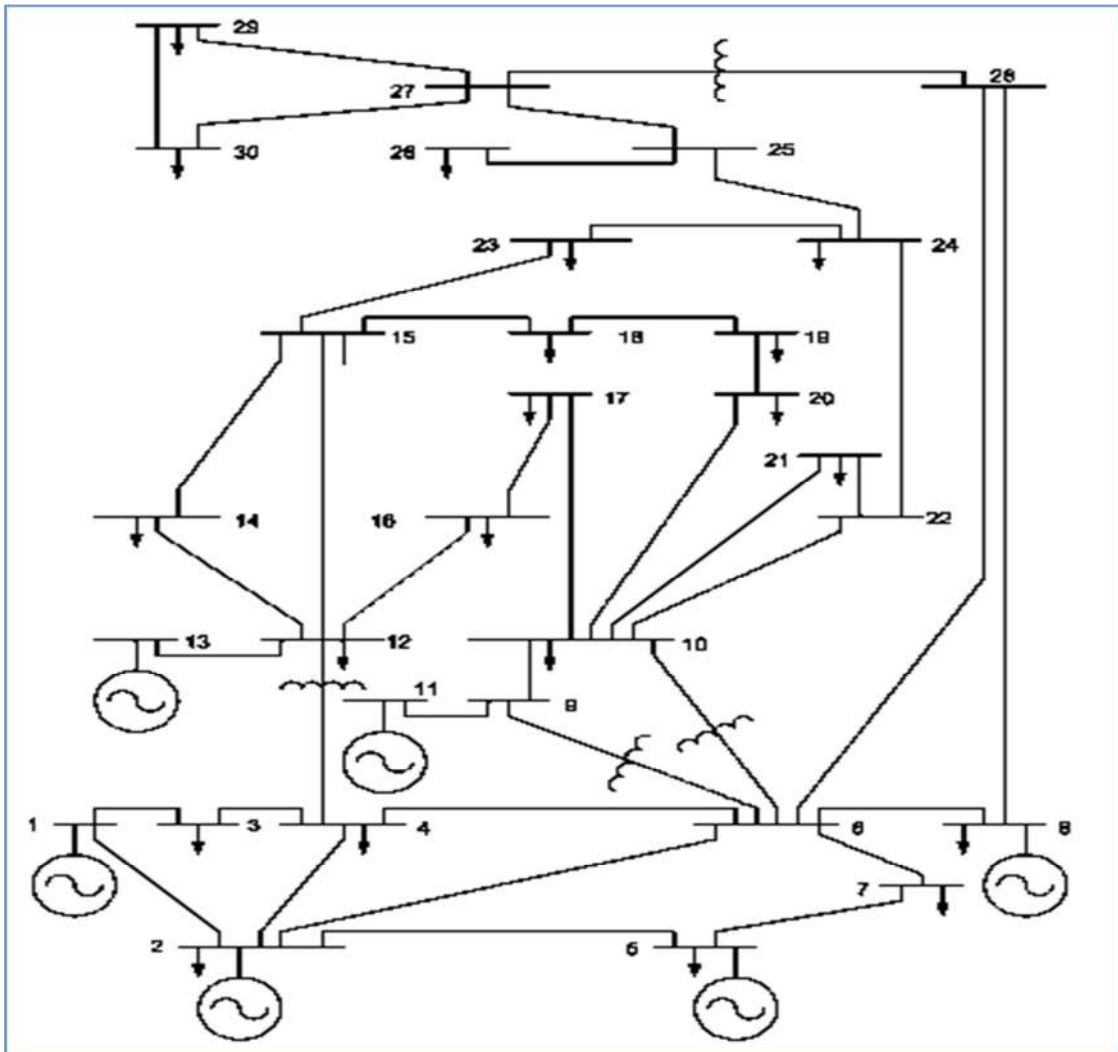


Figure III. 1 : Schéma unifilaire du réseau électrique IEEE à 30- jeux de barres.

III.3 Écoulement de puissance

Le calcul de l'écoulement de puissance du réseau testé est obtenu en utilisant la méthode de Newton - Raphson dont le principe et l'organigramme sont déjà décrits au chapitre I. Le choix de cette méthode pour la résolution du système d'équations non linéaires traduisant le comportement du réseau, revient aux bonnes caractéristiques de convergence de cette dernière par rapport à la méthode de Gauss-Seidel. Dans notre cas, comme le réseau étudié est de taille moyenne, ce qui ne nécessite pas forcément l'application de la méthode de découplé rapide appliquée pour des réseaux de très grande taille.

Les résultats de répartition de charges obtenus après uniquement 4 itérations sont illustrés dans les tableaux III.2 et III.3. Deux conditions de convergence sont considérées à savoir le nombre d'itérations qui doit être inférieur à 100 et les erreurs absolues des puissances actives et réactives qui doivent être inférieures à 10^{-3} .

La figure III.2 présente les amplitudes des tensions pour chaque jeu de barres du réseau.



Figure III. 2 : Amplitude des tensions pour chaque jeu de barres.

Nous remarquons que les tensions dans la totalité des jeux de barres restent entre les limites minimales et maximales.

Tableau III. 2 : Amplitude de tension de chaque nœud et les Puissances actives et réactives de charges et génération pour un réseau IEEE 30 jeux de barres.

Bus	Tension	Phase	charges		Générateurs		Q_{inj}
No.	Mag.	Degree	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR
1	1.060	0.000	0.000	0.000	260.998	-17.021	0.000
2	1.043	-5.497	21.700	12.700	40.000	48.822	0.000
3	1.022	-8.004	2.400	1.200	0.000	0.000	0.000
4	1.013	-9.661	7.600	1.600	0.000	0.000	0.000
5	1.010	-14.381	94.200	19.000	0.000	35.975	0.000
6	1.012	-11.398	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1.003	-13.150	22.800	10.900	0.000	0.000	0.000
8	1.010	-12.115	30.000	30.000	0.000	30.826	0.000
9	1.051	-14.434	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1.044	-16.024	5.800	2.000	0.000	0.000	19.000
11	1.082	-14.434	0.000	0.000	0.000	16.119	0.000
12	1.057	-15.302	11.200	7.500	0.000	0.000	0.000
13	1.071	-15.302	0.000	0.000	0.000	10.423	0.000
14	1.042	-16.191	6.200	1.600	0.000	0.000	0.000
15	1.038	-16.278	8.200	2.500	0.000	0.000	0.000
16	1.045	-15.880	3.500	1.800	0.000	0.000	0.000
17	1.039	-16.188	9.000	5.800	0.000	0.000	0.000
18	1.028	-16.884	3.200	0.900	0.000	0.000	0.000
19	1.025	-17.052	9.500	3.400	0.000	0.000	0.000
20	1.029	-16.852	2.200	0.700	0.000	0.000	0.000
21	1.032	-16.468	17.500	11.200	0.000	0.000	0.000
22	1.033	-16.455	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	1.027	-16.662	3.200	1.600	0.000	0.000	0.000
24	1.022	-16.830	8.700	6.700	0.000	0.000	4.300
25	1.019	-16.424	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	1.001	-16.842	3.500	2.300	0.000	0.000	0.000
27	1.026	-15.912	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	1.011	-12.057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

29	1.006	-17.136	2.400	0.900	0.000	0.000	0.000
30	0.995	-18.015	10.600	1.900	0.000	0.000	0.000
Total			283.400	126.200	300.998	125.144	23.300

Tableau III. 3 : Puissances transitées et les pertes dans le réseau IEEE à 30 jeux de barres

Ligne		Puissance transitées			Pertes dans les lignes	
De	à	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR
1		260.998	-17.021	261.553		
	2	177.778	-22.148	179.152	5.464	10.524
	3	83.221	5.127	83.378	2.808	7.085
2		18.300	36.122	40.493		
	1	-172.31	32.671	175.384	5.464	10.524
	4	45.712	2.705	45.792	1.106	-0.517
	5	82.990	1.703	83.008	2.995	8.178
	6	61.912	-0.958	61.920	2.048	2.264
3		-2.400	-1.200	2.683		
	1	-80.412	1.958	80.436	2.808	7.085
	4	78.012	-3.158	78.076	0.771	1.344
4		-7.600	-1.600	7.767		
	2	-44.605	-3.222	44.722	1.106	-0.517
	3	-77.242	4.503	77.373	0.771	1.344
	6	70.126	-17.526	72.282	0.604	1.179
	12	44.121	14.646	46.489	-0.000	4.685
5		-94.200	16.975	95.717		
	2	-79.995	6.475	80.257	2.995	8.178
	7	-14.205	10.500	17.664	0.151	-1.687
6		0.000	0.000	0.000		
	2	-59.864	3.222	59.951	2.048	2.264
	4	-69.521	18.705	71.994	0.604	1.179
	7	37.523	-1.885	37.570	0.367	-0.598
	8	29.528	-3.754	29.766	0.103	-0.558

	9	27.693	-7.322	28.644	-0.000	1.594
	10	15.823	0.653	15.836	-0.000	1.278
	28	18.819	-9.618	21.134	0.060	-13.086
7		-22.800	-10.900	25.272		
	5	14.356	-12.187	18.831	0.151	-1.687
	6	-37.156	1.287	37.178	0.367	-0.598
8		-30.000	0.826	30.011		
	6	-29.425	3.196	29.598	0.103	-0.558
	28	-0.575	-2.370	2.438	0.000	-4.368
9		0.000	0.000	0.000		
	6	-27.693	8.916	29.093	-0.000	1.594
	11	0.000	-15.657	15.657	0.000	0.462
	10	27.693	6.741	28.501	0.000	0.809
10		-5.800	17.000	17.962		
	6	-15.823	0.626	15.835	-0.000	1.278
	9	-27.693	-5.932	28.321	0.000	0.809
	20	9.027	3.560	9.704	0.081	0.180
	17	5.372	4.414	6.953	0.014	0.037
	21	15.733	9.842	18.558	0.110	0.237
	22	7.583	4.490	8.813	0.052	0.107
11		0.000	16.119	16.119		
	9	-0.000	16.119	16.119	0.000	0.462
12		-11.200	-7.500	13.479		
	4	-44.121	-9.961	45.232	-0.000	4.685
	13	0.000	-10.291	10.291	0.000	0.133
	14	7.856	2.442	8.227	0.075	0.155
	15	17.857	6.947	19.161	0.217	0.428
	16	7.208	3.363	7.954	0.053	0.112
13		0.000	10.423	10.423		
	12	-0.000	10.424	10.424	0.000	0.133
14		-6.200	-1.600	6.403		
	12	-7.782	-2.287	8.111	0.075	0.155

	15	1.582	0.687	1.724	0.006	0.005
15		-8.200	-2.500	8.573		
	12	-17.640	-6.519	18.806	0.217	0.428
	14	-1.576	-0.681	1.717	0.006	0.005
	18	6.014	1.744	6.262	0.039	0.080
	23	5.001	2.956	5.810	0.031	0.063
16		-3.500	-1.800	3.936		
	12	-7.154	-3.251	7.858	0.053	0.112
	17	3.654	1.451	3.932	0.012	0.027
17		-9.000	-5.800	10.707		
	16	-3.643	-1.424	3.911	0.012	0.027
	10	-5.357	-4.376	6.918	0.014	0.037
19		-9.500	-3.400	10.090		
	18	-2.770	-0.755	2.871	0.005	0.010
	20	-6.730	-2.645	7.231	0.017	0.034
20		-2.200	-0.700	2.309		
	19	6.747	2.679	7.259	0.017	0.034
	10	-8.947	-3.379	9.564	0.081	0.180
21		-17.500	-11.200	20.777		
	10	-15.623	-9.606	18.340	0.110	0.237
	22	-1.877	-1.594	2.462	0.001	0.001
22		0.000	0.000	0.000		
	10	-7.531	-4.384	8.714	0.052	0.107
	21	1.877	1.596	2.464	0.001	0.001
	24	5.654	2.788	6.304	0.043	0.067
23		-3.200	-1.600	3.578		
	15	-4.970	-2.893	5.751	0.031	0.063
	24	1.770	1.293	2.192	0.006	0.012
24		-8.700	-2.400	9.025		
	22	-5.611	-2.721	6.236	0.043	0.067
	23	-1.764	-1.280	2.180	0.006	0.012
	25	-1.325	1.602	2.079	0.008	0.014

25		0.000	0.000	0.000		
	24	1.333	-1.588	2.073	0.008	0.014
	26	3.545	2.366	4.262	0.045	0.066
	27	-4.877	-0.778	4.939	0.026	0.049
26		-3.500	-2.300	4.188		
	25	-3.500	-2.300	4.188	0.045	0.066
27		0.000	0.000	0.000		
	25	4.903	0.827	4.972	0.026	0.049
	28	-18.184	-4.157	18.653	0.000	1.309
	29	6.189	1.668	6.410	0.086	0.162
	30	7.091	1.661	7.283	0.161	0.304
28		0.000	0.000	0.000		
	27	18.184	5.466	18.987	0.000	1.309
	8	0.575	-1.999	2.080	0.000	-4.368
	6	-18.759	-3.467	19.077	0.060	-13.086
29		-2.400	-0.900	2.563		
	27	-6.104	-1.506	6.286	0.086	0.162
	30	3.704	0.606	3.753	0.033	0.063
30		-10.600	-1.900	10.769		
	27	-6.930	-1.358	7.062	0.161	0.304
	29	-3.670	-0.542	3.710	0.033	0.063
la somme des pertes					17.599	22.244

Les résultats de simulation confortent bien notre choix premier de la méthode de Newton-Raphson pour l'étude de l'écoulement de puissance d'un réseau IEEE 30 jeux de barres.

En effet, la convergence a été atteinte pour un temps de calcul très faibles.

Par conséquent cette méthode sera reconduite dans le problème d'optimisation dont le calcul de l'écoulement de puissance est appliqué pour chaque génération (100 fois) correspondant au nombre de particule (20 particules) c'est-à-dire que est répété 2000 fois.

III.4 Optimisation de l'écoulement de puissance

III.4.1 Paramètres de contrôle de PSO

La méthode d'optimisation par essaim de particules contient plusieurs paramètres explicites représentés dans le tableau III.4. Les paramètres de la méthode d'optimisation par essaim de particules à savoir C_1 , C_2 , ω_{\min} et ω_{\max} jouent un rôle important au niveau des résultats de simulation. Les valeurs considérées sont ceux mentionnées par plusieurs auteurs Kennedy et Eberhart. En plus, les travaux d'ABIDO et al [10]. Ont surtout mis en évidence le fait que ces valeurs sont également appropriées pour les problèmes concernant les réseaux électriques. De plus, d'autres paramètres ont aussi leur importance pour aboutir à de bons résultats. Il s'agit de la taille de la population et du nombre d'itérations. Il faut noter que la taille de la population et le nombre d'itérations sont intimement liés. Une grande taille de population nécessite peu d'itérations pour obtenir le minimum global, tandis que pour une petite taille, il faudrait un nombre d'itérations beaucoup plus grand. Dans notre application la taille de population est 20 particules et le nombre d'itération est 100.

Tableau III. 4 : Paramètres de l'algorithme PSO.

Paramètres de PSO	
Taille de la population	20
Nombre de génération	100
$C1 = C2$	2
w_{\min}	0.4
w_{\max}	0.9

III.4.2 Variables de contrôle

Afin de minimiser les pertes actives totales dans le réseau, on a procédé à un contrôle optimal des variables qui sont : les tensions des bus de génération, les rapports de transformation ainsi que les puissances réactives injectées par les condensateurs shunts. Les variables de contrôles et leurs limites maximales et minimales sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau III. 5 : Limites maximales et minimales des variables de contrôle.

Variable de commande	limite minimale	limite maximale
Tensions des bus de génération (p.u)	0.9	1.1
Rapports de transformation (p.u)	0.9	1.1
les puissances réactives injectées par les condensateurs shunts. (MVAR)	0	20

Lors de la nouvelle génération des variables de contrôle X_{ij} , dépassent les limites inférieures et supérieures, donc on peut d'écrire :

$$X_{ij} = \begin{cases} X_{ij}^{min} & \text{si } X_{ij} < X_{ij}^{min} \\ X_{ij}^{max} & \text{si } X_{ij} > X_{ij}^{max} \end{cases} \quad (\text{III. 1})$$

III.4.3 Fonction objective et contraintes d'égalités et d'inégalités

L'objectif recherché est de minimiser les pertes actives dont la formulation mathématique générale peut s'écrire comme suit [31]:

$$J = \min f = \sum_{i=1}^{nb} \text{Perte}_i \quad (\text{III. 2})$$

$$\min \text{pertes}_i = \sum_{k=1}^{nb} g_k [V_i^2 + V_j^2 - 2 * V_i V_j \cos \theta_{ij}] \quad (\text{III. 3})$$

Avec :

- Pertes_i : Pertes actives dans la branche i . ;
- n_b : Nombre de branches ;
- f : Fonction objective à minimiser ;
- g_k : La conductance de branche k entre les jeux de barres i, k ;
- θ_{ij} : La différence angulaire entre les angles de buses ;
- V_i, V_j : les modules de tension de jeux de barres.

En plus de la fonction objective, le réseau électrique doit remplir les conditions d'inégalité et d'égalité décrites aux chapitre II. L'amplitude de la tension de l'ensemble des jeux de barres doit être :

$$0.9 \leq V_{L_i} \leq 1.1$$

Où V_{L_i} est la tension du jeu de barres de charge i .

Le tableau ci-dessous regroupe les limites inférieures et supérieures des puissances actives et réactives des générateurs.

Tableau III. 6 : Limites minimales et maximales des puissances réactives des générateurs.

	Q_G^{min} [MVAR]	Q_G^{max} [MVAR]
Générateur 1 (G1)	-40	10
Générateur 2 (G2)	-40	50
Générateur 5 (G5)	-40	40
Générateur 8 (G8)	-10	40
Générateur 11 (G11)	-6	24
Générateur 13 (G13)	-6	24

Après l'étape d'écoulement de puissance, chaque variable n'obéissant pas aux contraintes d'inégalité sera affectée par une pénalité. Par conséquent, la fonction objective finale considérée est décrite par la formule suivante [10][31]:

$$J_{aug} = \sum_{i=1}^{nb} Perte_i + \sum Pénalités \quad (III. 4)$$

$$J_{aug} = \sum_{k=1}^{nb} g_k [V_i^2 + V_j^2 - 2 * V_i V_j \cos \theta_{ij} + \lambda_p (P_{G_i} - P_{G_i}^{lim})^2 + \lambda_v \sum_{i=1}^{N_L} (V_{L_i} - V_{L_i}^{lim})^2 + \lambda_Q \sum_{i=1}^{N_G} (Q_{G_i} - Q_{G_i}^{lim})^2 + \lambda_s \sum_{i=1}^{n_l} (S_{l_i} - S_{l_i}^{max})^2 \quad (III. 5)$$

Ou :

- λ_v : Coefficient de pénalité vis à vis de la tension des nœuds de charge ;
- λ_p : Coefficient de pénalité vis à vis de la puissance active des générateurs ;
- λ_Q : Coefficient de pénalité vis à vis de la puissance réactive des générateurs ;
- λ_s : Coefficient de pénalité vis à vis la puissance apparente transitée dans les lignes.

Ou :

- $\lambda_p, \lambda_Q, \lambda_s=10$;
- $\lambda_v = 1000$.

III.4.4 Algorithme PSO

La méthode adoptée pour l'optimisation de l'écoulement de puissance dans notre travail est basée sur l'Algorithme d'optimisation par essaim de particule (PSO) dont la fonction objective étant l'optimisation des pertes actives, la figure III.3 représente le principe de base de la méthode PSO.

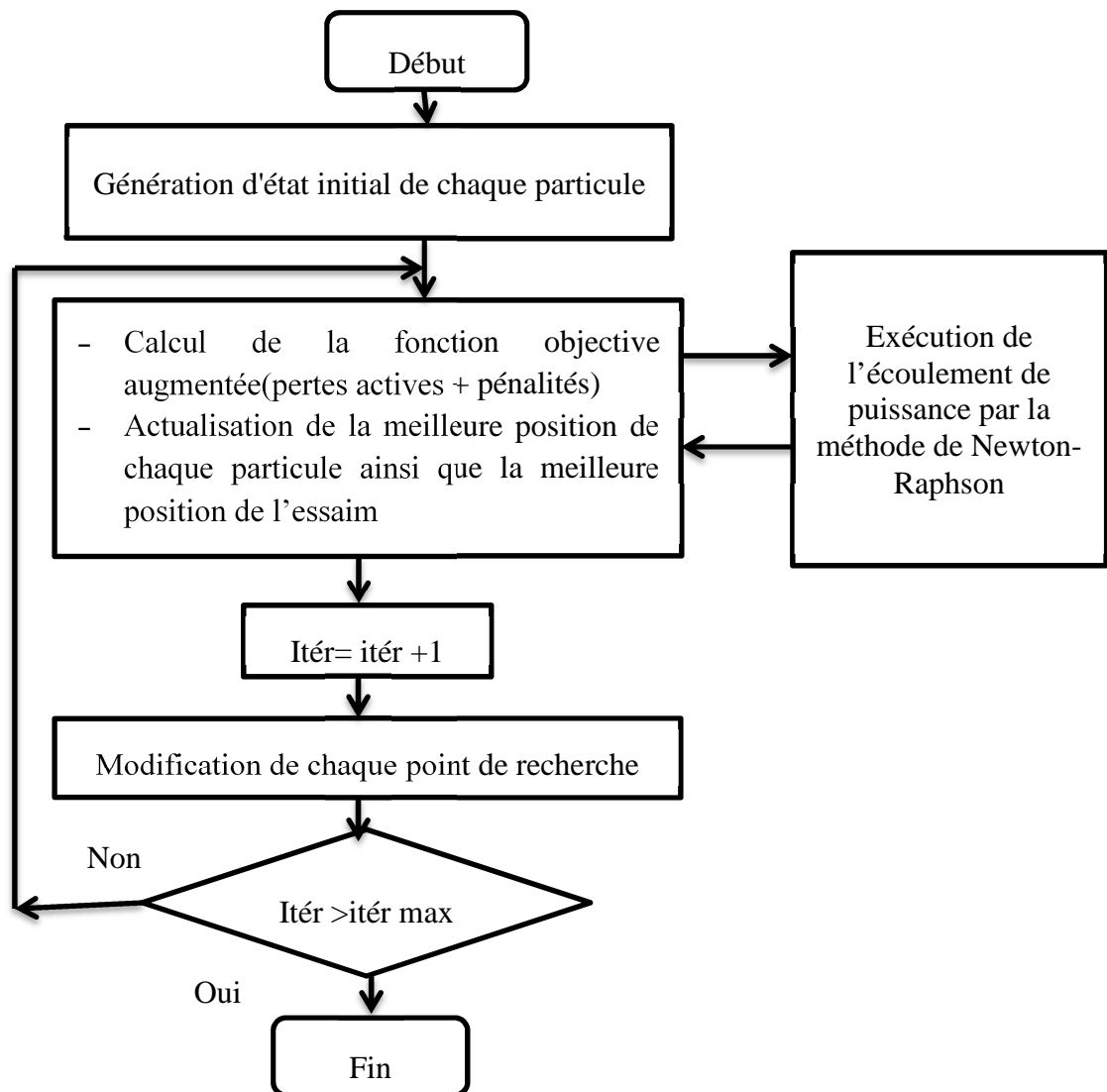


Figure III. 3 : le principe de base de la méthode PSO

Une génération d'une population est initialement réalisée, dont la fitness de chaque individu sera par la suite évaluée par le calcul de l'écoulement de puissance, puis le programme principal PSO passe d'une génération à une autre par la modification de chaque point de recherche jusqu'à l'obtention de la solution optimale.

III.4.5 Résultats de l'écoulement optimal

La figure III.4 illustre la caractéristique de convergence de la méthode PSO

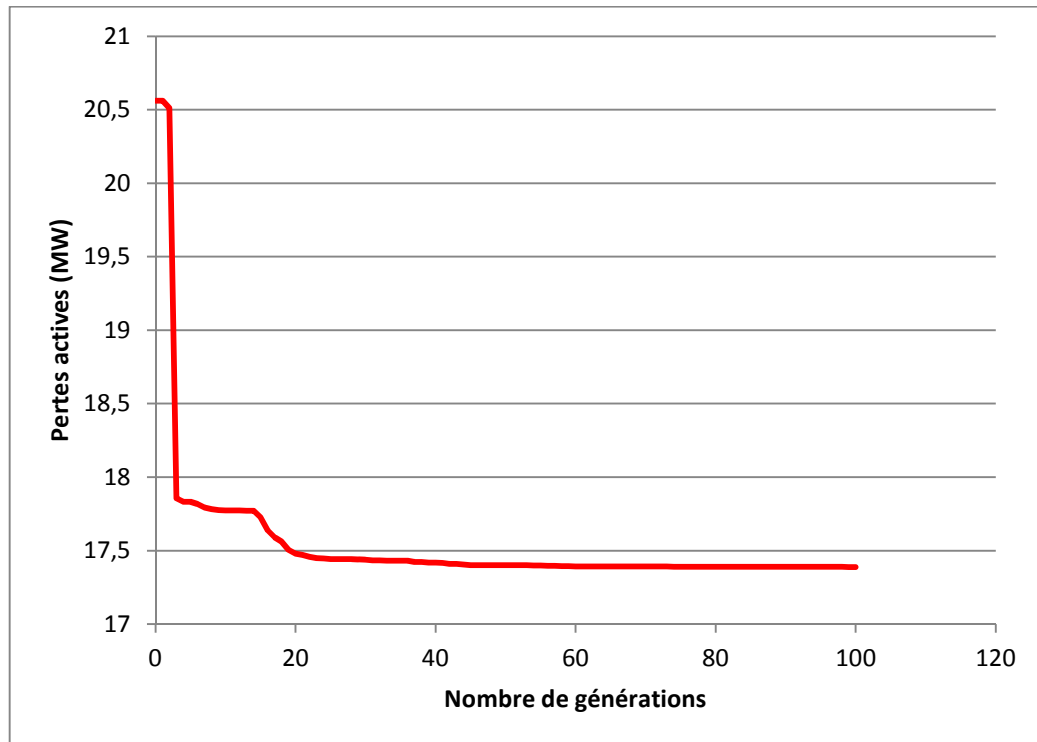


Figure III. 4 : caractéristique de convergence de la méthode PSO dont la fonction objective est minimisée les pertes actives

On remarque que la méthode PSO converge après un nombre de générations satisfaisant qui est en moyenne inférieur à 50 itérations. Donc, on peut dire que la méthode PSO est une méthode caractérisée par une bonne convergence. De plus, le contrôle optimale des tensions aux niveaux des jeux de barres de génération, des rapports de réglage la charge des transformateurs ainsi que des puissances réactives des condensateurs shunts ont permis de diminuer les pertes actives. Après l'optimisation, les pertes actives sont égales à 17.3857 MW au lieu de 17.599 MW pour un réseau initial dont les paramètres de contrôle ne sont pas encore optimisés. A savoir une amélioration de 0.2133 MW.

La diminution des pertes actives est une conséquence directe d'une meilleure répartition de la tension de l'ensemble des jeux de barres du réseau. En effet, d'après la figure III.3 qui représente le profil des tensions, on constate une augmentation de la tension de la totalité des jeux de barres.

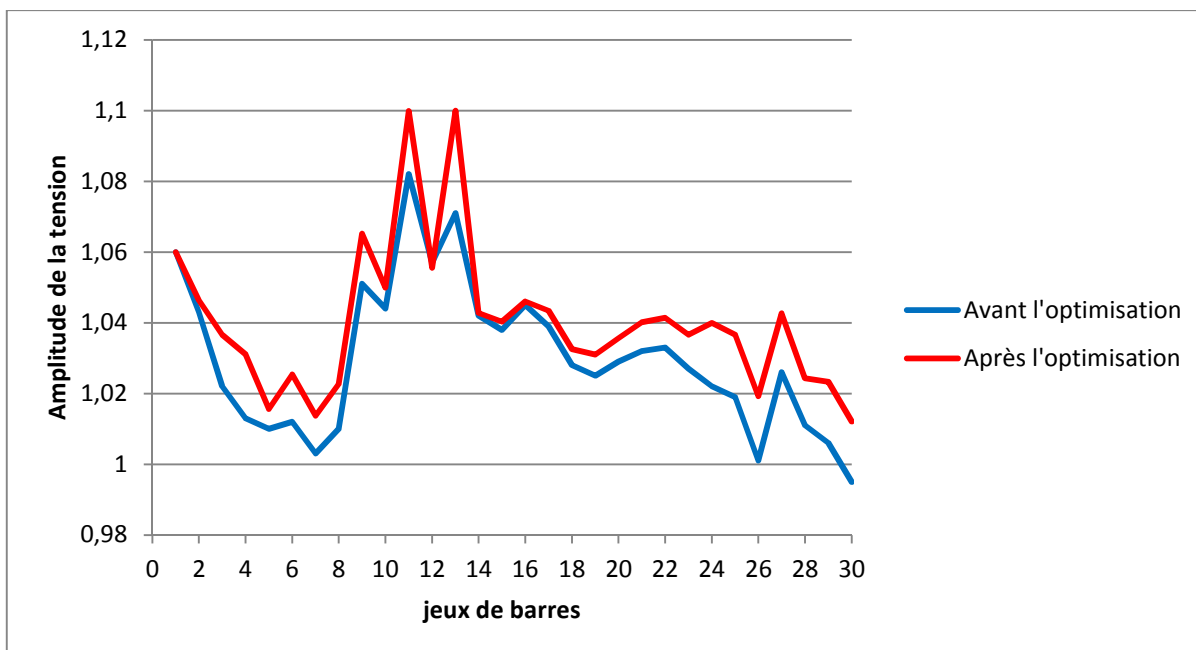


Figure III. 5 : la variation de l'amplitude de la tension des jeux de barres du réseau testé avant et après l'optimisation.

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs des variables de contrôle optimales générées par la méthode PSO induisent moins de pertes actives dans le réseau testé.

Tableau III. 7 : Variables de contrôle du réseau testé avant et après l'optimisation.

	Sans optimisation	Avec optimisation
V_{G2} (pu)	1.043	1.0464
V_{G5} (pu)	1.010	1.0151
V_{G8} (pu)	1.010	1.0221
V_{G11} (pu)	1.082	1.0999
V_{G13} (pu)	1.071	1.0999
T 1	0.932	0.9585
T2	0.978	1.0066
T3	0.969	1.0059
T 4	0.968	0.9975
Qc 10	19	13.5658
Qc 24	4.3	11.8232
Pertes actives (MW)	17.599	17.3857

Tableau III. 8 : Les puissances actives et réactives après OPF

	Puissance active (MW)	Puissance réactive (MVAR)
G_1	260.7857	-29.999
G_2	40	42.522
G_5	0	33.339
G_8	0	31.859
G_{11}	0	18.765
G_{13}	0	26.561

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons résolu un problème d'optimisation de puissance réactive par la méthode d'essaim de particules dans l'objectif de minimiser les pertes actives dans un réseau test IEEE à 30 jeux de barres. Les résultats obtenus montrent que le contrôle des tensions des jeux de barre de génération, des rapports de transformation, et des puissances réactives injectées par les condensateurs shunts permettent de réduire les pertes actives de transmission. De plus, cette optimisation a contribué à l'amélioration des profils des tensions de l'ensemble des nœuds constituant le réseau. Il est à signaler aussi que la convergence de l'algorithme PSO est satisfaisante dont le nombre de générations nécessaires pour atteindre la condition de convergence est moins de 50 itérations.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons cherché à améliorer les performances d'un réseau électrique standard IEEE à 30 jeux de barres en optimisant son écoulement de puissance réactive par la méthode d'essaim de particules.

En premier lieu, une modélisation de fonctionnement du réseau en régime permanent équilibré a été menée. Les équations non linéaires traduisant le comportement du réseau sont résolues par la méthode itérative de Newton-Raphson. Cette étape primordiale pour l'étude d'un réseau nous a permis de définir l'ensemble de ses variables à savoir l'amplitude et la phase des tensions des bus et les puissances actives et réactives. Ces paramètres sont par la suite utilisés pour calculer les puissances transitées dans les lignes et les pertes. Le nombre d'itérations suffisant pour résoudre le problème d'écoulement de puissance est faible donc ce qui implique un temps de calcul satisfaisant. Les bonnes caractéristiques de convergence de la méthode confortent notre choix de la méthode de résolution du problème d'écoulement de puissance. L'amplitude des tensions de l'ensemble de jeux de barres sont dans la limite acceptable. Les pertes actives de transmission calculées dans notre réseau est de 17.599 MW.

En deuxième lieu le fonctionnement du réseau a été optimisé en cherchant à réduire les pertes actives totales lors du transport et distribution de l'énergie. En effet, un problème d'optimisation d'écoulement de puissance réactive est défini sous forme d'une fonction objective qu'on cherche à minimiser en tenant compte des contraintes qui maintiennent le système électrique dans les marges de sécurité. Dans notre travail la minimisation des pertes actives constitue la fonction objective. Pour atteindre l'objet assigné. Un contrôle judicieux des variables de contrôle tels que les tensions des bus de génération, le rapport des transformateurs et les puissances réactives capacitatives des batteries de condensateur est primordial. Cette optimisation est obtenue à l'aide de la méthode d'essaim de particules dont la condition de convergence considérée est le nombre de générations maximal égal à 100. D'une part, nous avons constaté que la convergence est atteinte après un nombre d'itération satisfaisant (50 itérations en moyenne). D'autre part, une meilleure répartition des tensions au niveau des jeux de barre du réseau a été obtenue suite à l'opération d'optimisation ce qui a permis d'améliorer la qualité de transmission d'énergie et de réduire ainsi les pertes actives dans le réseau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]G. Abdelmalek, « Utilisation des méthodes d'optimisations métaheuristiques pour la résolution du problème de répartition optimale de la puissance dans les réseaux électriques », Mémoire de Magister, Universitaire d'El-oued 2010.
- [2]V.H. Quintana, G.L. Torres, and J.M. Palomo. “Interior-Point Methods and Their Applications to Power Systems:A Classifications of Publications and Software. IEEE Trans. Power Systems, 15(1): 170-176, 2000.
- [3] J.Kennedy, YShi, R Eberhart., “ *Swarm intelligence*,” livre,Morgan Kaufmann Publishers,San Francisco, Mars 2001.1st edition.
- [4]R. Benabid. « Optimisation multi-objectif de la synthèse des FACTS par les particules en essaim pour le contrôle de la stabilité de tension des réseaux électriques », mémoire de magister, Université Amar Telidji-Laghouat, 2007
- [5] J. Carpentier «optimal Power flow » , IFAC symposium on planning and opération of Electric Energy System, Rio de Janeiro, July 1985, 11-21
- [6] M Yahiaoui ,«Contrôle optimal des puissances réactives et des tensions dans un réseau d'énergie électrique par dispositif FACTS ».thèse de doctorat , université d'Oran 2014.
- [7] Z Zhu “copper differentially regulates the activity and degradation of yeast MAC1 transcription factor”, J Bio Che , Janvier 1998 80-1277
- [8]Khiat Mounir « Répartition optimale des puissances réactives dans un réseau d'énergie électrique sous certaines contraintes de sécurité » Thèse de doctorat, Université d'Oran 2003.
- [9] M Yahiaoui.,’’ control des tensions et des puissances réactive dans un réseau d'énergie de grand taille’’ mémoire de magister, soutenue à l'ENSET Oran, 2001.
- [10] M ABIDO «Optimal power flow using particle swarm optimization» International Journal of Electrical Power & Energy Systems 2002.563-571
- [11] IEEE Committee Report, “Tutorial on Modern Heuristic Optimization Techniques with Applications to Power systems”, IEEE Power Engineering Society, 02TP160, 2002.
- [12] Iba K. “Reactive power optimization by genetic algorithms”, IEEE Trans on power systems, May 1994, vol.9, No.2, pp.685-692.

- [13] S. Pothiya, P.Tantaswadi, S. Runggeratigul, “ Solving the Economic Dispatch Problem Using Multiple Tabu Search Algorithm”, The first conference of international conference on systems and signals (ICSS) I-Shou University, Kaohsiung, Taiwan, April 28-29, 2005.
- [14] Y. Fukuyama. “A Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control Considering Voltage Security Assessment.” IEEE Trans. on Power Systems, vol.15, No. 4, May 2000.1232-1239
- [15] M.R. Iravani, et D. Maratukulam “ Review of Semiconductor-Controlled (Static) Phase Shifters for Power System Application“ IEEE Trans. Power Systems, Novembr 1994 vol. 9 No. 4 pp. 1833-1839.
- [16] R. Cherkaoui “ Méthodes Heuristiques pour la Recherche de Configurations D’un réseau Electrique de Distribution“ Thèse de doctorat, soutenu en 1992 à l’ EPF de Lausanne.
- [17] B. Stott, O. Alsac, “Experience with Successive linear Programming for optimal Rescheduling of Active and Reactive Power”, paper 104-01, presented at the CIGRE-IFAC Symp.On Control Applications to Power System Security, Florence, Italy, September 1983.
- [18] T.A. Feo, et M.G.C. Resende “A Probabilistic Heuristic for a Computationally Difficult Set Covering Problem“Operations Research Letters, vol. 8 1989, pp. 67-71.
- [19] L.J. Fogel, A.J. Owens, et M.J. Walsh “Artificial Intelligence Through Simulated Evolution»Wiley, New- York, 1966.
- [20] S. Gerbex “ Métaheuristiques Appliquées Au Placement Optimal de Dispositifs FACTS Dans un Réseau électrique“ . Thèse de doctorat d’Etat soutenus en 2003 à L’EPF de Lausanne.
- [21] D.B. Fogel “Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence“IEEE Press, New-York, 2nd ed. Edition, 2000.
- [22] T. Back “Evolutionary Algorithms in Theory and Practice“Oxford University Press, New-York, 1995.
- [23] T. Back et H.P. Schwefel “An Overview of Evolutionary Algorithms for Parameters Optimization“Evolutionary Computation, vol. 1 No.1 Spring 1993, pp. 1-23.
- [24]A. Arif “ Différentes techniques de planification de l’énergie réactive dans les réseaux électriques“Thèse de doctorat, soutenu en 2008 à l’ENP Alger.
- [25] Z. Michalewicz, “Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs“,Springer, Berlin, 1999

- [26] méthereustique pour l'otimisation difficile JhonDréo et al livre 2003
- [27].Th. Back, D.B. Fogel and Z. Michalewicz. "Handbook of Evolutionary Computation", Oxford University Press (1997)
- [28] Kennedy, J., Eberhart, R., Particle Swarm Optimization, Proc. IEEE Int'l. Conf. on Neural Networks (Perth, Australia), IEEE Service Center, Piscataway, NJ, IV: 1942-1948, 1995.
- [29] S Arif , A Hellal , A Choucha « Optimisation par essaim de particules appliquée à l'écoulement optimal de puissance réactive », article in Revue internationale de génie électrique · Décembre 2007
- [30] A Coello, G Toscano Pulido, M Salazar Lechuga "Handling multiple objectives with particle swarm optimization" article, IEEE Transactions on evolutionary computation Juin 2004 V8 256_279
- [31] N Menacer, B Mahdad, K Srairi, M S Hamed, « Minimisation des Pertes de Transmission d'Energie par Utilisation des Méthodes Globales d'Optimisation », article , 7th International Conference on Electrical Engineering CEE'12, Octobre 2012 , 59-63.

Annexes

Annexes

Tableau A. 1: Classification des jeux de barres

Type des Jeux de barres (JB)	Code
Charge (P, Q)	0
Générateur (P, V)	2
Référence (slack/swing bus)	1

Tableau A.2 : Les données des jeux de barres du réseau IEEE 30 nœuds

Bus	Bus	Tension	Angle	---charge---		Générateur				$Q_{c_{injectée}}$
No	code	Mag.	Degree	MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	+Qc/-Ql
1	1	1.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
2	2	1.043	0.0	21.70	12.7	40.0	0.0	-40	50	0
3	0	1.0	0.0	2.4	1.2	0.0	0.0	0	0	0
4	0	1.06	0.0	7.6	1.6	0.0	0.0	0	0	0
5	2	1.01	0.0	94.2	19.0	0.0	0.0	-40	40	0
6	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
7	0	1.0	0.0	22.8	10.9	0.0	0.0	0	0	0
8	2	1.01	0.0	30.0	30.0	0.0	0.0	-30	40	0
9	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
10	0	1.0	0.0	5.8	2.0	0.0	0.0	-6	24	19
11	2	1.082	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
12	0	1.0	0	11.2	7.5	0	0	0	0	0
13	2	1.071	0	0	0.0	0	0	-6	24	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	9.0	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	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	4.3
25	0	1	0	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	0
28	0	1	0	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

Tableau A.3: Données des lignes de transport du réseau IEEE 30 nœuds

Bus		R	X	1/2 B	a/1 (Rapport du transformateur)
nl	nr	p.u.	p.u.	p.u.	
1	2	0.0192	0.0575	0.02640	1
1	3	0.0452	0.1852	0.02040	1
2	4	0.0570	0.1737	0.01840	1
3	4	0.0132	0.0379	0.00420	1
2	5	0.0472	0.1983	0.02090	1
2	6	0.0581	0.1763	0.01870	1
4	6	0.0119	0.0414	0.00450	1
5	7	0.0460	0.1160	0.01020	1
6	7	0.0267	0.0820	0.00850	1
6	8	0.0120	0.0420	0.00450	1
6	9	0.0000	0.2080	0.00000	0.978
6	10	0.0000	0.5560	0.00000	0.969
9	11	0.0000	0.2080	0.00000	1
9	10	0.0000	0.1100	0.00000	1
4	12	0.0000	0.2560	0.00000	0.932
12	13	0.0000	0.1400	0.00000	1
12	14	0.1231	0.2559	0.00000	1
12	15	0.0662	0.1304	0.00000	1

12	16	0.0945	0.1987	0.00000	1
14	15	0.2210	0.1997	0.00000	1
16	17	0.0824	0.1923	0.00000	1
15	18	0.1073	0.2185	0.00000	1
18	19	0.0639	0.1292	0.00000	1
19	20	0.0340	0.0680	0.00000	1
10	20	0.0936	0.2090	0.00000	1
10	17	0.0324	0.0845	0.00000	1
10	21	0.0348	0.0749	0.00000	1
10	22	0.0727	0.1499	0.00000	1
21	22	0.0116	0.0236	0.00000	1
15	23	0.1000	0.2020	0.00000	1
22	24	0.1150	0.1790	0.00000	1
23	24	0.1320	0.2700	0.00000	1
24	25	0.1885	0.3292	0.00000	1
25	26	0.2544	0.3800	0.00000	1
25	27	0.1093	0.2087	0.00000	1
28	27	0.0000	0.3960	0.00000	0.968
27	29	0.2198	0.4153	0.00000	1
27	30	0.3202	0.6027	0.00000	1
29	30	0.2399	0.4533	0.00000	1
29	30	0.2399	0.4533	0.00000	1
6	28	0.0169	0.0599	0.06500	1

Résumé :

Ce travail consiste à étudier un problème d'optimisation d'écoulement de puissance appliqué sur un réseau électrique standard IEEE à 30 jeux de barres en régime permanent et équilibré. Notre objectif principal est de minimiser les pertes actives du réseau testé en respectant les limites de sécurité vis-à-vis des tensions de service, des puissances apparentes transitées dans les lignes ainsi que les limites des générateurs de production en termes de puissance active et réactive fournies. L'application mise en œuvre est constituée essentiellement de deux parties. La partie principale qui représente la méthode d'optimisation d'essaim de particules, utilisée pour la recherche du meilleur vecteur des variables de contrôle induisant le moins de pertes actives possibles dans le réseau électrique. La deuxième partie traite le problème d'écoulement de puissance, elle calcule la fonction objective du problème d'optimisation qui est les pertes actives. Les résultats obtenus mis en évidence l'efficacité de la méthode PSO dans le problème d'optimisation considéré. En effet, la convergence est atteinte avec un nombre de générations de moins de 50, c'est-à-dire un temps de calcul raisonnable. L'optimisation proposée a permis de réduire les pertes actives et d'améliorer le profil des tensions de l'ensemble des jeux de barres.

Mot clés : écoulement de puissance, méthode de Newton-Raphson, problème d'optimisation, optimisation par essaim de particule, fonction objective, pertes actives, profil de tension.

Abstract :

This work consists in studying a power flow optimization problem applied on an IEEE standard electrical network with 30 buses in steady state and balanced. Our main objective is to minimize the active losses of the tested network by respecting the safety limits with respect to the operating voltages, the apparent power transited in the lines as well as the limits of the generators of production in terms of active and reactive power provided. The application implemented consists essentially of two parts. The main part which represents the method of particle swarm optimization, used for the search of the best vector of the control variables inducing the least possible active losses in the electrical network. The second part deals with the problem of power flow, it calculates the objective function of the optimization problem which is the active losses. The results obtained highlighted the effectiveness of the PSO method in the optimization problem considered. Indeed, the convergence is reached with a number of generations of less than 50, that is to say a reasonable calculation time. The proposed optimization has reduced active losses and improved the voltage profile of all bus.

Key words: power flow, Newton-Raphson method, optimization problem, particle swarm optimization, objective function, active losses, voltage profile.

ملخص

يتكون هذا العمل من دراسة مشكلة تحسين تدفق الطاقة المطبقة على شبكة كهربائية قياسية أمريكية 30 عقدة. هدفنا الرئيسي هو التقليل إلى أدنى حد من الخسائر النشطة للشبكة المختبرة من خلال احترام حدود السلامة فيما يتعلق بجهود التشغيل، والطاقة الظاهرة المنقولة في الخطوط وكذلك حدود مولدات الإنتاج من حيث القدرة الفعالة والتفاعلية المقدمة. التطبيق المنفذ يتكون أساساً من جزأين. الجزء الرئيسي الذي يمثل طريقة تحسين سرب الجسيمات يستخدم هذا التطبيق للبحث عن أفضل ناقل لمتغيرات التحكم التي تحدث أقل خسائر نشطة ممكنة في الشبكة الكهربائية. الجزء الثاني يتناول مشكلة تدفق الطاقة، فإنه بحسب الوظيفة الموضوعية لمشكلة التحسين وهي الخسائر النشطة. أبرزت النتائج التي تم الحصول عليها باستعمال خوارزمية سرب الجسيمات مشكلة التحسين التي تم بحثها فعالية هذه الطريقة. في الواقع، يتم التوصل إلى التقارب مع عدد من الأجيال أقل من 50 وهذا يعني وقت حساب معقول. أدى التحسين المقترح إلى تقليل الخسائر النشطة وتحسين ملف الجهد لجميع قضبان التوصيل،

الكلمات المفتاحية : تدفق الطاقة، طريقة نيوتن رافسون، مشكلة التحسين، تحسين سرب الجسيمات، الوظيفة الموضوعية، الخسائر النشطة، ملف الجهد