

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieure et de la recherche scientifique

جامعة البليدة 01

Université de BLIDA 01

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الآليات و الكهرو تقني

Département d'Automatique et Electrotechnique



Mémoire de Master

Filière Electrotechnique

Spécialité Machines électriques

Optimisation et contrôle de l'écoulement de puissance en considération des gaz polluants

Présenté par :

KADRI Khaled Ayoub

BELLAH Yehya Khalil

Proposé par :

Dr. CHANANE Abdallah

Année universitaire 2020-2021

REMERCIEMENT

Tout d'abord, on tient à remercier dieu tout puissant qui nous a donné la santé, la patience, le savoir et le courage pour terminer ce travail.

On souhaite avant tout remercier notre encadreur Mr. Chanane Abdallah pour son soutien pour le temps qui nous à donner pour sa patience et son encouragement pour nous aider à bien terminer ce travail.

Nous adressons nos remerciements au membres de jury monsieur le Dr. Belazzoug Messaoud chef de filière machines électriques, et qui nous à enseigner depuis notre deuxième année universitaire et qui nous a trop aider dans ce domaine.

Un grand merci également à tous nos enseignants du département d'électronique qui nous ont formé dans ces 5ans à Blida1.

Merci à nos chers parents pour leur soutien moral et matériel.
Ainsi que tous nos amis et collègues.

RESUME

Depuis plusieurs années, l'optimisation de l'écoulement de puissance est considérée comme un axe de recherche très important pour les exploitants et les gestionnaires du réseau électrique. L'optimisation c'est minimiser ou maximiser une fonction objective en respectant certaines contraintes, cette fonction peut être la minimisation du coût de production ou bien la minimisation des taux de gaz polluants. Dans ce mémoire un nouvel algorithme méta-heuristique basé sur les herbes invasive (IWO) a été appliqué à l'écoulement de puissance sur le réseau standards IEEE 9 et 14JDB, afin de minimiser le coût de production des puissances actives et le taux des gaz polluants dégagé par les centrales électriques. Les résultats obtenus ont été comparé avec l'écoulement de puissance optimal ainsi avec l'algorithme des essaims de particule (PSO).

Mots clés : Optimisation de l'écoulement de puissance optimale, SMART GRID, l'algorithme des herbes invasives (IWO), l'algorithme des essaims de particule (PSO), IEEE 9 et 14 JDB.

ABSTRACT

For several years, optimal power flow has been considered a very important research axis for the electric grid operators and managers. Optimization is to minimize or maximize an objective function with respect for some constraints, that function can be the minimization of production cost or minimizing the rate of polluting gases. In this thesis a new meta-heuristic algorithm based on invasive weeds (IWO) has been applied in the power flow grid for standard IEEE 9 AND 14 Bus, in order to minimize the active power production cost, and the rate of polluting gases released by power plants. The obtained results

RESUME

were compared with optimal power flow (OPF) and particle swarm optimization algorithm (PSO).

Keywords: Optimal power flow, SMART GRID, Invasive weed optimization (IWO), Particle swarm optimization (PSO), IEEE 9 AND 14 Bus.

ملخص

لعدة سنوات، كان تحسين تدفق الطاقة (OPF) يعتبر من أهم مجالات البحث لمشغلي ومديري شبكة الكهرباء. يمكن أن تكون هذه الوظيفة تقليل تكلفة الإنتاج أو تقليل معدل الغازات الملوثة. في هذه الأطروحة، تم تطبيق خوارزمية جديدة تعتمد على الأعشاب الغازية (IWO) تم تطبيقها لتحسين تدفق الطاقة وفقاً لمعايير شبكة معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيك العالمي 9 عقد و 14 عقدة، من أجل تقليل تكلفة إنتاج الطاقة ومعدل الغاز. بواسطة محطات توليد الطاقة. تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع تدفق الطاقة الأمثل وكذلك مع خوارزمية سرب الجسيمات (PSO). الكلمات المفتاحية: تحسين تدفق الطاقة (OPF) ، SMART GRID ، خوارزمية العشب الغازية (IWO)، خوارزمية سرب الجسيمات (PSO).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1	Paramètres de contrôle de IWO pour les réseaux à 9 et 14 JDB.	44
Tableau 4.2	Les valeurs optimales pour chaque essai avec l'écart et les coûts de production pour un réseau standard IEEE à 9JDB.	46
Tableau 4.3	Les valeurs de puissance totales générées et les pertes de puissance actives pour le réseau à 9 JDB.	48
Tableau 4.4	Les valeurs optimales obtenues par l'algorithme de IWO pour un réseau à 9 JDB.	49
Tableau 4.5	Les valeurs optimales pour chaque essai avec l'écart et les coûts de production Pour un réseau à 14 JDB.	51
Tableau 4.6	Les valeurs de puissance totales générées et les pertes de puissance active pour le réseau 14 JDB.	54
Tableau 4.7	Les valeurs optimales pour chaque essai avec l'écart et les coûts de production pour un réseau à 9 JDB.	55
Tableau A.1	Données du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.	
Tableau A.2	Données des générateurs du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.	
Tableau A.3	Données du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.	
Tableau A.4	Données des générateurs du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Architecture générale d'un réseau électrique.	04
Figure 1.2	Principe général de fonctionnement d'une centrale électrique.	05
Figure 1.3	Principe général de fonctionnement d'une centrale thermique.	06
Figure 1.4	Principe général de fonctionnement d'une centrale hydraulique.	06
Figure 1.5	Principe général de fonctionnement d'une centrale éolienne.	06
Figure 1.6	Structure arborescente d'un réseau électrique.	08
Figure 1.7	Structure maillée d'un réseau électrique.	08
Figure 1.8	Structure radiale d'un réseau électrique.	09
Figure 1.9	Modèle d'un générateur.	10
Figure 1.10	Modélisation d'une ligne électrique.	11
Figure 1.11	Modélisation d'un transformateur.	12
Figure 1.12	Modèle d'une charge.	13
Figure 1.13	Modèles des éléments shunt.	14
Figure 1.14	L'évolution journalière de la charge en Algérie durant la journée du 01 MARS 2014.	15
Figure 2.1	Processus d'optimisation.	21
Figure 3.1	Déplacement d'une particule.	31
Figure 3.2	Organigramme de la méthode de PSO.	34
Figure 3.3	Topologies de voisinage.	35

LISTE DES FIGURES

Figure 3.4	Organigramme de la méthode IWO.	40
Figure 4.1	Schéma du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.	45
Figure 4.2	Convergence de PSO pour un réseau à 9 JDB.	46
Figure 4.3	Convergence de IWO pour un réseau à 9 JDB.	47
Figure 4.4	Les tensions Générées pour le réseau à 9 JDB.	47
Figure 4.5	Convergence de IWO pour un réseau à 9JDB pour la minimisation des gaz polluants.	49
Figure 4.6	Schéma du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.	50
Figure 4.7	Convergence de PSO pour un réseau à 14 JDB.	52
Figure 4.8	Convergence de IWO pour un réseau de 14 JDB.	52
Figure 4.9	Les tensions Générées pour le réseau de 14 JDB.	53
Figure 4.10	Convergence de IWO pour un réseau à 14 JDB pour la minimisation des gaz polluants.	56

LISTE DES ABREVIATIONS

OPF	Optimisation de l'écoulement de puissance.
IWO	Optimisation des herbes invasives.
PSO	Optimisation des essais de particules.
P_{Gi}	Puissance active générée au nœud i .
P_{Di}	Puissance active demandée au nœud i .
Q_{Gi}	Puissance réactive générée au nœud i .
S_{Gi}	Puissance apparente générée au nœud i .
$P_{Gi}^{max}, Q_{Gi}^{max}$	Puissance active et réactive maximal générée au nœud i .
$P_{Gi}^{min}, Q_{Gi}^{min}$	Puissance active et réactive minimal générée au nœud i .
V_i	Tension au nœud i .
δ_i	Déphasage au nœud i .
V_S	Tension de source.
I_S	Courant de source.
V_R	Tension de charge.
I_R	Courant de charge.
A, B, C, D	paramètres des constantes de la ligne.
Z'	Impédance de la ligne.
Y'	Admittance de la ligne.
R	Résistance de la ligne.
X	Réactance de la ligne.
S_{Di}	Puissance apparente complexe de la charge.
P_{Di}	Puissance active de la charge.
Q_{Di}	Puissance réactive de la charge.
P_{max}	Puissance active maximal générée.

LISTE DES ABREVIATIONS

P_{min}	Puissance active minimal généré.
V_{max}	Tension maximal généré.
V_{min}	Tension minimal généré.
T_{max}	Rapport de transformateur maximal.
T_{min}	Rapport de transformateur minimal.
$F(x, u)$	La fonction objective à optimiser.
x	Vecteur des variables d'état.
u	Vecteur des variables de contrôle.
g	Représente les équations de l'écoulement de puissance.
h	Représente les limites des variables d'état et des contraintes.
a_i, b_i, C_i	Les coefficient du coût.
C_0	Coefficient d'inertie.
C_1, C_2	Coefficient d'accélération.
$rand$	Nombre aléatoire entre 0 et 1.
V_i^k	La vitesse de la particule à l'itération k .
X_i^k	La position de la particule à l'itération k .
$pbest_i^k$	La meilleure position de la particule i jusqu'à l'itération k .
$gbest_i^k$	La meilleure position de l'essaim jusqu'à l'itération k .
x_{pr}	Vecteur de position de la particule.
v_{pr}	Vecteur de vitesse de la particule.
$pbest_{pr}$	La meilleure particule parmi toutes les particules.
X_i^{k+1}	La nouvelle position de la particule l'itération $k + 1$.
V_i^{k+1}	La nouvelle vitesse de la particule l'itération $k + 1$.
$iter_{max}$	Le nombre maximal des itérations.
$iter$	Le nombre des itérations actuel.
$\sigma(t)$	L'écart-type actuel.
T	Le nombre maximal des itérations.
t	Le nombre des itérations actuel.

LISTE DES ABREVIATIONS

$\sigma(t)$	L'écart-type actuel.
$\sigma_{initial}$	L'écart-type initiale.
σ_{final}	L'écart-type finale.
n	Est l'indice de modulation non-linéaire.
F_{cost}	La fonction objective du coût.
$F_{emission}$	La fonction objective des émissions.
a_i, b_i et c_i	Les coefficients de coût du carburant des générateurs.
P_{gi}	La puissance réelle du générateur.
α_i, β_i et γ_i	Les coefficients d'émission.
JDB	Jeux de barres.
P_{Loss}	Perte de puissance active.
MW	Méga watt.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT

RESUME

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE	01
-----------------------	----

CHAPITRE 1 : Généralités sur les réseaux électriques

1.1.	Introduction	04
1.2.	Historique sur les réseaux électriques	04
1.3.	Architecture d'un réseau électrique	04
1.3.1.	La production	05
1.3.1.1.	Principe général de fonctionnement	05
1.3.1.2.	Les centrales les plus utilisées	05
1.3.2.	Le transport et répartition	06
1.3.3.	La distribution	07
1.4.	Classification des niveaux de tension alternative	07
1.5.	Structure des réseaux électriques	08
1.5.1.	Arborescente	08
1.5.2.	Maillée	08
1.5.3.	Radiale	09
1.6.	La qualité de l'énergie électrique	09
1.7.	Modélisation des composantes	10
1.7.1.	Modélisation d'un générateur	10
1.7.2.	Modélisation d'une ligne	11
1.7.3.	Modélisation d'un transformateur de puissance	12
1.7.4.	Modélisation d'une charge électrique	13
1.7.5.	Modélisation d'un élément shunt	13
1.8.	Problèmes de fluctuation de la charge	14

TABLE DES MATIERES

1.9.	Tenue de tension	16
1.10.	Les gaz polluants	16
1.10.1.	Les impacts	17
1.10.2.	Les techniques utilisées pour diminuer les rejets	17
1.11.	Conclusion	18

CHAPITRE 2 : Écoulement de puissance optimal

2.1.	Introduction	19
2.2.	Concept général de l'écoulement de puissance optimale	19
2.3.	Objectif de l'écoulement de puissance optimale dans les réseaux électriques	19
2.4.	Techniques d'optimisation	20
2.5.	Formulation générale du problème pour l'écoulement de puissance optimale	21
2.5.1.	Fonction objective	22
2.5.2.	Contraintes d'égalité	22
2.5.3.	Contraintes d'inégalité	23
2.6.	Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation	23
2.6.1.	Les problèmes d'optimisation	23
2.6.2.	Les problèmes d'optimisation déterministe ou stochastique	23
2.6.3.	Méthode d'optimisation Heuristiques	24
2.6.3.1.	Méthode de Runge-Kutta d'ordre 4	24
2.6.3.2.	Méthode de Newton-Raphson	25
2.6.3.3.	Application de la méthode de Newton-Raphson dans l'écoulement de puissance	26
2.7.	Classification des variables	28
2.7.1.	Variables de contrôle	28
2.7.2.	Variables dépendantes ou d'état	28
2.8.	Types des nœuds	29
2.8.1.	Nœud de référence	29
2.8.2.	Nœud de charge	29
2.8.3.	Nœud de génération	29
2.9.	Conclusion	29

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 3 : Algorithmes d'optimisation

3.1.	Introduction	30
3.2.	Optimisation par essais de particule	30
3.2.1.	Idées de base	31
3.2.2.	Algorithme générale	32
3.2.3.	Les étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particule	33
3.2.4.	Organigramme de PSO	34
3.2.5.	Le voisinage	35
3.2.6.	Synthèse de l'algorithme	36
3.3.	Optimisation par l'algorithme des herbes invasive	37
3.3.1.	Idée de base	37
3.3.2.	Étapes de la méthode d'optimisation par IWO	38
3.3.3.	Organigramme d'optimisation par IWO	40
3.3.4.	Formulation du problème de l'écoulement de puissance	41
3.3.4.1.	Les contraintes du système	41
3.3.4.2.	La fonction objective du coût	42
3.3.4.3.	La fonction objective des émissions	42
3.4.	Conclusion	43

CHAPITRE 4 : Simulations et résultats

4.1.	Introduction	44
4.2.	Réseau à 09 JDB	45
4.2.1.	Minimisation du coût	46
4.2.1.1.	Résultat pour l'optimisation du coût	46
4.2.1.2.	Présentation des figures	46
4.2.1.3.	Comparaison entre les résultats obtenus	47
4.2.2.	Calcul des pertes de puissance active	48
4.2.3.	Minimisation des gaz polluants	49
4.2.3.1.	Résultats d'optimisation des gaz polluants	49
4.2.3.2.	Présentation de la figure	49

TABLE DES MATIERES

4.3.	Réseau à 14 JDB	50
4.3.1.	Minimisation du coût	51
4.3.1.1.	Résultat pour l'optimisation du coût	51
4.3.1.2.	Présentation des figures	52
4.3.1.3.	Comparaison entre les résultats obtenus	53
4.3.2.	Calcul des pertes de puissance active	53
4.3.3.	Minimisation des gaz polluants	55
4.3.3.1.	Résultats d'optimisation des gaz polluants	55
4.3.3.2.	Présentation de la figure	56
4.4.	Conclusion	57
	CONCLUSION GENERALE	58

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE



INTRODUCTION GENERALE

L'électricité ne se résume pas à la simple mise en marche d'un interrupteur. Depuis la création de l'énergie électrique, des progrès technologiques majeurs ont été évolués et depuis sont devenus nécessaires pour la race humaine, telle que : l'ampoule, téléphones, téléviseur, ordinateur, réfrigérateur, cuisinière et climatisation. Ces nouvelles technologies ont grandement amélioré notre qualité de vie quotidienne et continuent de progresser.

Rien de tout cela n'aurait été possible sans l'invention de l'électricité.

L'énergie existe sous différentes formes dans la nature, mais la forme la plus importante est l'énergie électrique. À l'ère moderne l'humanité est de plus en plus dépendante de l'énergie électrique qui fait une grande partie dans notre vie.

L'électricité est une énergie vitale de la société moderne. Elle facilite le progrès technologique et sous-tend une large gamme de produits et de services qui améliorent notre qualité de vie et la productivité économique. Ainsi, la demande d'énergie électrique est fortement reliée à la croissance démographique et économique.

L'efficacité énergétique et électrique est la clé de l'économie moderne.

En bref, l'électricité possède un potentiel qui lui permet d'avoir des attributs uniques, tel que la haute qualité de conversion à pratiquement n'importe quelle forme d'énergie : force motrice, lumière, chaleur, électronique.

Efficacité de transmission, l'énergie électrique peut-être facilement transmise de la centrale aux consommateurs finals à l'aide des lignes de transmission aériennes de manière très pratique et efficace.

Contrôle facile des machines à commande électrique à une vitesse auparavant inatteignable.

L'énergie électrique est produite à partir de plusieurs sources d'énergie disponible dans la nature.

Les carburants et les minéraux sont les principales sources de production d'énergie. Comme le combustible solide tel que le charbon, et liquide comme le pétrole et gazeux

Après l'utilisation des armes nucléaires durant la deuxième guerre mondiale, les chercheurs ont réalisé que le combustible nucléaire peut libérer une grande quantité d'énergie thermique par la fission de l'uranium 235 et d'autres matière fissiles. On estime que 1kg de combustible nucléaire peut produire une énergie thermique égale à l'énergie thermique produite par 4500 tonnes de charbon.

Le réseau électrique est l'infrastructure mettant en relation la production de l'électricité et son usage final. Il joue le rôle d'envoyer de l'électricité sur de très longues distances à des niveaux de tension très élevés pour limiter les pertes de puissance qui peuvent survenir dans les lignes de transport longue distance. Le pouvoir peut être transmis d'un État à l'autre, d'un côté du pays à l'autre ou à travers différents pays. C'est-à-dire des ensembles interconnectés production - transport/distribution - consommation. Il est en effet constitué de multiples matériels électrotechniques (lignes, câbles, transformateurs, appareils de coupure, contrôle-commande) associés de manière coordonnée et c'est cette association qui constitue le réseau. [1]

La production de l'énergie électrique doit s'adapter en permanence avec la consommation. Le problème de la répartition optimale des puissances et de contrôle de la tension des systèmes électriques est actuellement une des principales préoccupations des entreprises de production et de distribution de l'énergie électrique vise à maintenir la tension dans les limites acceptables de fonctionnement et à contrôler les puissances injectées et à minimiser les pertes de transmission qui ont pour conséquence une réduction du coût. [2]

La stratégie de l'OPF utilise des méthodes basées sur la programmation mathématique pour déterminer l'optimal réglage des variables de contrôle du système. L'analyse d'un réseau électrique composé de plusieurs générateurs, lignes de transport

Et charges, est extrêmement importantes pour l'exploitation et l'étude, pour avoir une satisfaction d'ensemble d'exigences spécifiques et pour le bon fonctionnement et la sécurité. [3]

Dans ce mémoire, nous présentons un algorithme d'optimisation basé sur les herbes invasives pour une répartition optimale des puissances active dans un réseau électrique en tenant compte des gaz polluants, les pertes et le coût de la production de puissance active.

Objectif et contribution du mémoire :

Le travail effectué dans ce mémoire a pour objectif d'utiliser une méthode d'optimisation pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance optimale. La méthode proposée étant l'algorithme des herbes invasives qui a été développée par Mehrabian en 2006, qui à la fin du processus va nous fournir des solutions qui peuvent satisfaire les contraintes techniques ainsi la demande.

Ce mémoire est structuré comme suit :

Chapitre 01 : comportera des généralités sur le réseau électrique, ses composants, leurs modélisations et des notions sur les gaz polluants.

Chapitre 02 : dans ce chapitre nous allons présenter le problème de l'écoulement de puissance optimale et sa formulation, ainsi que quelque méthode de résolution heuristique.

Chapitre 03 : ce chapitre est dédié aux méthodes d'optimisations méta heuristiques (essaim de particule et les herbes invasives) et leurs caractéristiques, dont la quel leurs applications sur l'écoulement de puissance optimale.

Chapitre 04 : dans ce chapitre est dédié pour la présentation des résultats de la simulation sur des réseaux standard international IEEE9 et 14 jeux de barres en se basant sur l'algorithme des herbes invasives.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale et perspective.



CHAPITRE 1 : Généralités sur les réseaux électriques

1.1. Introduction :

L'énergie électrique est la forme d'énergie la plus utilisée dans l'industrie, résidences et bureaux. L'électrotechnique c'est la technologie de l'énergie électrique qui relie la génération, le transport, la distribution et l'utilisation de cette énergie. Le réseau électrique est parmi les systèmes les plus complexes par sa grandeur physique.

1.2. Historique sur les réseaux électriques :

Le concept de réseau électrique a été introduit par Thomas Edison en 1878. Ce dernier à chercher pour distribuer l'énergie électrique et alimenter un réseau d'éclairage.

L'industrie de réseau électrique a commencé réellement en 1882 où Thomas Edison a construit sa première centrale à New York. Cette centrale fonctionne avec des machines à vapeur qui entraînent des génératrices mais au début était à courant continu pour fournir de la puissance nécessaire au réseau d'éclairage. [4]

1.3. Architecture d'un réseau électrique :

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

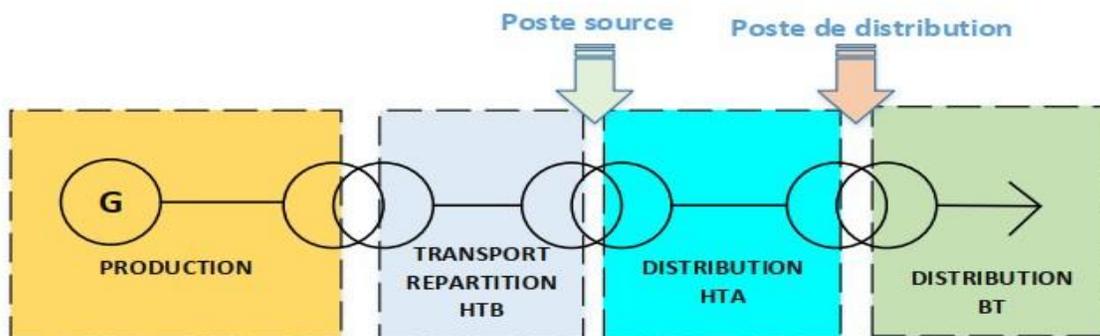


Figure 1.1 : Architecture générale d'un réseau électrique [5]

1.3.1. La production :

La production d'énergie électrique s'effectue dans les centrales électriques. Le rôle des centrales électriques est la conversion d'une énergie primaire qui peut être une énergie éolienne, nucléaire ou solaire vers une énergie électrique. [6]

1.3.1.1. Principe général de la production :

Une centrale électrique est essentiellement constituée d'une turbine associée à un alternateur.

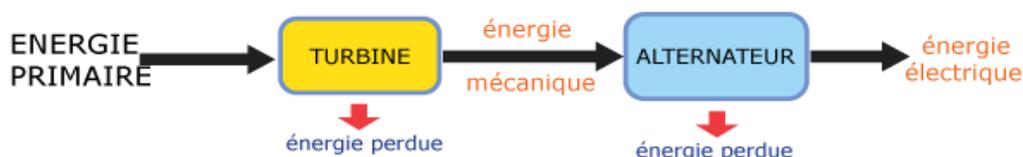


Figure 1.2 : Principe général de fonctionnement d'une centrale électrique

Une énergie primaire (thermique-hydraulique ou éolienne) est convertie en énergie mécanique à l'aide de la turbine. Ainsi qu'une partie de cette énergie est perdue à cause des frottements.

Ensuite, l'énergie mécanique de la turbine est convertie en énergie électrique à l'aide d'un alternateur. Ainsi qu'une partie de cette énergie est perdue à cause des pertes liées au chauffage de l'alternateur.

Donc une centrale électrique est un convertisseur d'énergie.

1.3.1.2. Les centrales les plus utilisées :

Centrale thermique : dans une centrale thermique, on chauffe de l'eau dans une chaudière pour obtenir de la vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur va permettre de faire tourner une turbine qui va entraîner un alternateur, et ce dernier va produire de l'électricité.

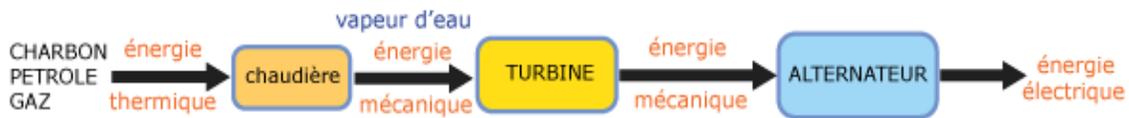


Figure 1.3 : Principe général de fonctionnement d'une centrale thermique

Centrale hydraulique : lorsque l'eau est stockée dans un endroit approprié, il possède une certaine énergie potentielle à cause de la façon dont il est stocké. Une centrale hydraulique (barrage) utilise la force de l'eau pour entraîner une turbine, cette dernière permet de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique à l'aide d'un alternateur.



Figure 1.4 : Principe général de fonctionnement d'une centrale hydraulique

Centrale éolienne : une éolienne utilise la force de l'air. L'air fait tourner les pales de l'éolienne qui entraîne un alternateur, qui produit l'électricité.



Figure 1.5 : Principe général de fonctionnement d'une centrale éolienne

1.3.2. Le transport et la répartition :

Après sa production, le transfert de l'énergie électrique est assuré par un réseau de transport aérien de haute tension afin de réduire les pertes de puissance et réduire la section des conducteurs et câbles.

1.3.3. La distribution :

Un réseau de distribution est l'ensemble des composantes requises pour conduire l'énergie électrique vers la charge (le consommateur), cet ensemble comprend des transformateurs, des lignes de transmission, des générateurs, des moyens de mesure et de contrôle, et des protections.

1.4. Classification des niveaux de tension alternative :

La classification des réseaux électriques se fait à partir de la tension qui apparaît entre deux phases du réseau électrique à courant alternatif.

Le réseau électrique en Algérie est un réseau interconnecté avec les pays frontières comme la Tunisie et le Maroc, les différents niveaux de tension en Algérie sont :

HTB : pour une tension de 400KV, 220 KV et 60KV.

HTA : pour une tension de 30KV et 10KV.

BTB : pour une tension comprise entre 500V et 1KV.

BTA : pour une tension comprise entre 50V et 500V.

TBT : pour une tension inférieure ou égale à 50V.

1.5. Structure des réseaux électriques :

C'est l'ensemble des principes nécessaires utilisés pour véhiculer l'énergie électrique en distribution publique, on distingue : [7]

1.5.1. Arborescente :

C'est une structure qui est utilisée dans les milieux urbains, la sécurité d'alimentation est faible puisqu'un simple défaut sur la ligne ou le poste coupe l'alimentation sur l'ensemble des clients.

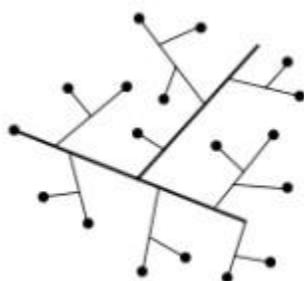


Figure 1.6 : Structure arborescente d'un réseau électrique

1.5.2. Maillée :

C'est une structure qui relie toutes les centres de production par des lignes au niveau de postes d'interconnexion. Apportant une grande sécurité d'alimentation et meilleure fiabilité.

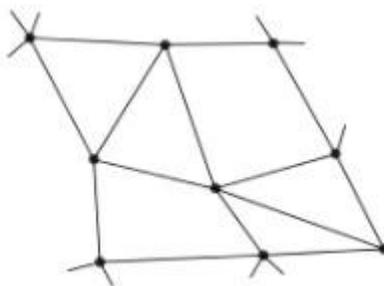


Figure 1.7 : Structure maillée d'un réseau électrique

1.5.3. Radiale :

C'est une structure qui relie les postes de distribution, elle est alimentée dans les deux côtés pour assurer la disponibilité.



Figure 1.8 : Structure radiale d'un réseau électrique.

1.6. La qualité de l'énergie électrique :

La qualité de l'électricité est devenue un sujet stratégique pour les compagnies d'électricité, les personnels d'exploitation, de maintenance ou de gestion des sites tertiaires ou industriels, et les constructeurs d'équipements, essentiellement pour les raisons suivantes : [8]

- La nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises.
- La généralisation d'équipements sensible aux perturbations de la tension ou eux-mêmes générateurs de perturbations.
- L'ouverture du marché d'électricité.

1.7. Modélisation des réseaux électriques :

1.7.1. Modélisation d'un générateur :

Les générateurs sont les éléments du réseau capable de fournir de la puissance active au système. Ils peuvent aussi produire ou consommer de la puissance réactive de manière à maintenir un certain niveau de tension. Les limites de production des générateurs sont définies par : [3]

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} \quad (1.1)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} \quad (1.2)$$

Un générateur peut être modélisé comme dans le schéma de la figure suivante :

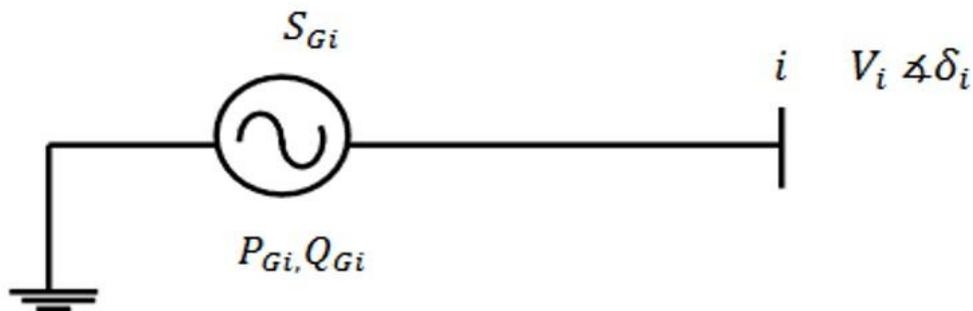


Figure 1.9 : Modèle d'un générateur [9]

Avec :

P_{Gi}, Q_{Gi} : Puissance active et réactive générées au nœud i .

S_{Gi} : Puissance apparente au nœud i .

V_i : Tension au nœud i .

δ_i : Déphasage au nœud i .

1.7.2. Modélisation d'une ligne :

La modélisation en π d'une ligne électrique permet de représenter le comportement de la ligne, cette modélisation elle se compose d'une résistance série R une réactance X et une admittance shunt Y' . Voir la (Figure 1.10)

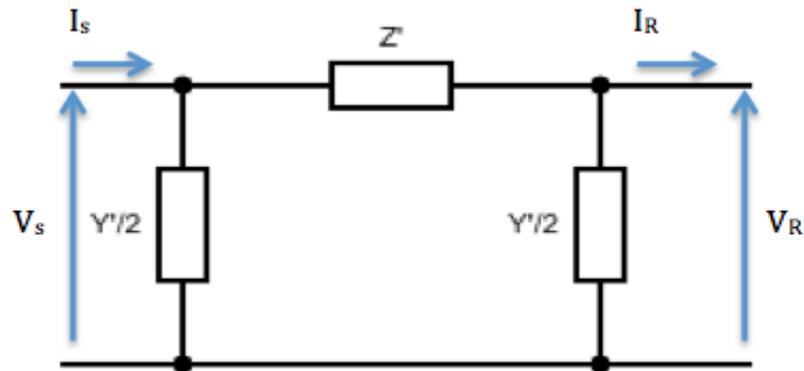


Figure 1.10 : Modélisation d'une ligne électrique

On a :

$$Z' = R + jX \quad (1.3)$$

Déterminons le courant et la tension de source on utilise la loi de Kirchhoff, on trouve :

$$\begin{cases} V_s = A \cdot V_R + B \cdot I_R \\ I_s = C \cdot V_R + D \cdot I_R \end{cases} \quad (1.4)$$

Sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Avec :

V_s, I_s : Tension et Courant de source.

V_R, I_R : Tension et Courant de charge.

A, B, C, D : paramètres des constantes de la ligne.

Z' : Impédance de la ligne.

Y' : Admittance de la ligne.

R : Résistance de la ligne.

X : Réactance de la ligne.

1.7.3. Modélisation d'un transformateur de puissance :

Un transformateur peut être modélisé par un schéma équivalent monophasé faisant intervenir un transformateur idéal, des éléments en série (les résistances des enroulements primaires et secondaires et les inductances de fuites) et des éléments en parallèle comme (l'inductance de magnétisation et éventuellement une résistance modélisant les pertes "fer"). Ramené au même niveau de tension (primaire ou secondaire).

Il n'est pas rare que soient négligé dans un calcul de répartition les éléments en parallèle du schéma équivalent, dont l'influence est surtout sensible lorsque le réseau est très peu chargé. Dans ce cas, le schéma équivalent du transformateur, ramené au même niveau de tension, se réduit à une simple impédance "série" dont la résistance représente la résistance totale des enroulements primaires et secondaires, et dont l'inductance représente l'inductance de fuite totale entre un enroulement primaire et enroulement secondaire. [10]

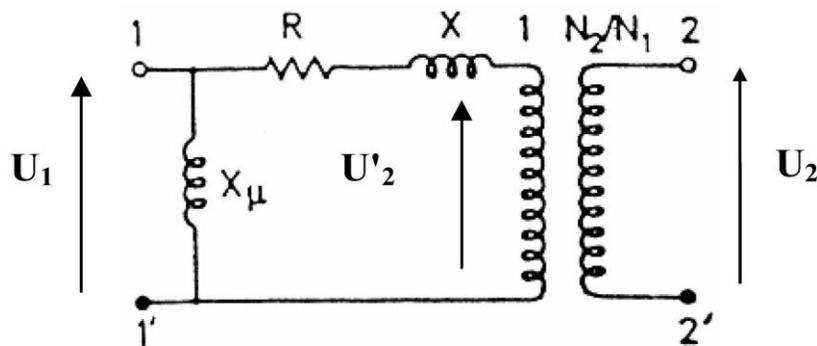


Figure 1.11 : Modélisation d'un transformateur [10]

1.7.4. Modélisation d'une charge électrique :

Les charges représentent les consommateurs connectés au réseau. La consommation d'énergie électrique est le fait de tous les secteurs de la vie économique : l'industrie et services...etc. Elle se présente sous des diverses formes comme : les moteurs synchrones et asynchrones, appareils et chauffages...etc. [3]

Les charges sont modélisées par des puissances constantes indépendantes de la tension nodale :

$$S_{Di} = P_{Di} + jQ_{Di} \quad (1.6)$$

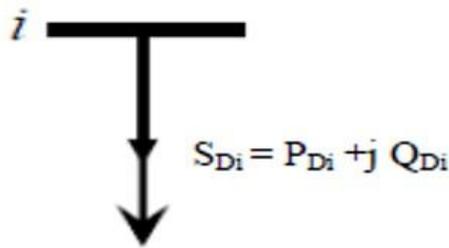


Figure 1.12 : Modèle d'une charge [3]

Où :

S_{Di} : puissance apparente complexe de la charge.

P_{Di} : puissance active.

Q_{Di} : puissance réactive ; cette puissance réactive peut être positive ou négative selon que la charge est de nature inductive ou capacitive.

1.7.5. Modélisation d'un élément shunt :

Les dispositifs shunt comme les batteries de condensateur où réactance sont généralement utilisées pour la compensation de la puissance réactive et le maintien de la tension, sont modélisés par des admittances y_i de forme :

$$y_i = g_i + jb_i \quad (1.7)$$

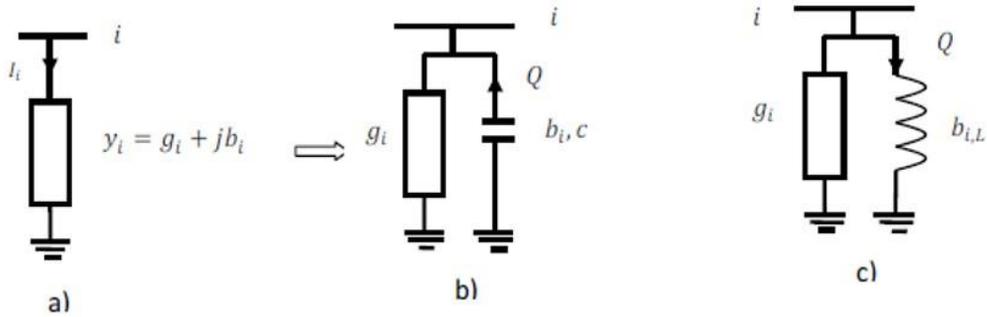


Figure 1.13 : Modèles des éléments shunt

Avec :

- a) Symbole générale d'un élément shunt.
- b) Élément capacitif.
- c) Élément inductif.

1.8. Problèmes de fluctuation de la charge :

Le premier but d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs. Comme on ne peut encore stocker économiquement et en grande quantité l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité assurant que (la somme des puissances générées est égale à la puissance totale demandé plus les pertes totales), c'est le problème de la conduite du réseau. [11]

De plus la qualité du service est un souci majeur de l'exploitant : maintien de la tension et de la fréquence dans les plages contractuelles (problème de réglage du réseau), prise en compte du couplage dynamique entre production et consommation via le réseau (stabilité), assurer l'intégrité des ouvrages (dimensionnement approprié et protection). [11]

Connaître la consommation de l'électricité d'une période future est important pour l'exploitation du système électrique. Pour ce faire, une multitude de variables sont traditionnellement utilisées pour expliquer et prédire le niveau de consommation d'électricité: la température, l'heure de la journée et les jours de semaine. L'impact de la plupart de ces variables est lié aux conditions climatiques, aux habitudes de consommation, aux rythmes de vie et au pays considéré.

La figure (1.14) illustre l'enregistrement du centre national de conduite en Algérie, relatif à la variation de la charge durant 24heures pour la journée du 01 mars 2014. [11]

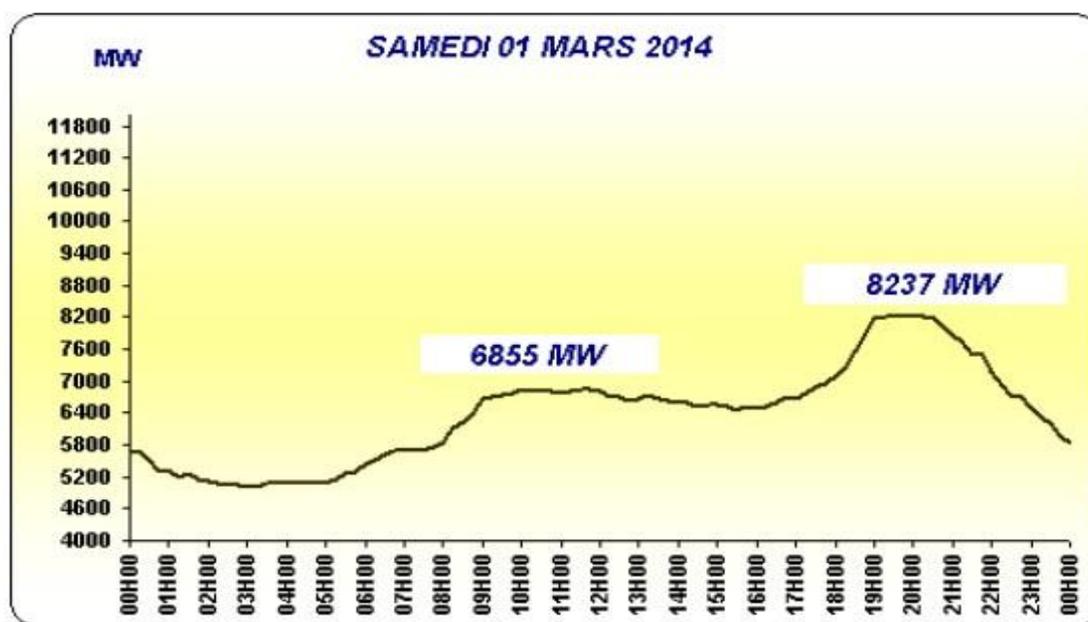


Figure 1.14 : L'évolution journalière de la charge en Algérie durant la journée du 01 MARS 2014. [11]

1.9. Tenue de tension :

Les limites de tension dans le réseau électrique ne doivent pas être dépassées pour les raisons suivantes : [11]

- Les limites supérieures de tension sont imposées pour tous les niveaux d'exploitation par la tenue diélectrique des matériels, ainsi que par les limites de saturation des transformateurs. En ce qui concerne les réseaux de distribution, la tension est aussi limitée car une tension trop élevée peut réduire la durée de vie des appareils.
- Les limites inférieures de tension sont imposées au niveau des réseaux de distribution par le fonctionnement correct des appareils industriels ou domestiques. Au niveau des réseaux de transport, les limites inférieures de tension sont liées à la sécurité du système électrique dans son ensemble.

1.10. Les gaz polluants :

La production d'énergie et d'électricité en particulier génère des pollutions atmosphériques et des gaz à effet de serre. [12]

Ces gaz sont libérés lors de la combustion des combustibles fossiles, tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel. La combustion du charbon est plus intensive en carbone que la combustion du gaz naturel ou du pétrole pour l'électricité.

La production totale d'électricité est responsable de 42,5 % des émissions mondiales de CO₂. Tel que 73 % de ces émissions proviennent des centrales à charbon. Ainsi que les centrales nucléaires rejettent des gaz et déchets radioactifs. [13]

En 2017 l'Algérie 53.5% de la production totale d'électricité proviennent du gaz naturel et 46.4% proviennent du pétrole, par contre 0.003% proviennent des sources hydraulique et 0.03% proviennent des énergies solaires et éolien. [14]

Différentes techniques sont utilisées pour réduire ces émissions atmosphériques. [12]

1.10.1. Les impacts:

Chaque mode de production d'électricité a des impacts sur l'environnement. Par exemple, les centrales au charbon exigent l'exploitation, le transport et le stockage d'énormes quantités de charbon. La combustion de celui-ci occasionne des rejets du dioxyde de soufre SO_2 , et des oxydes d'azote NO_x , le dioxyde de carbone (CO_2), de mercure et d'autres polluants dans l'atmosphère. Les cendres résiduelles, les cendres volantes et d'autres déchets solides qui s'accumulent à la centrale doivent être manipulées et éliminées. [15]

Dioxyde de soufre (SO_2) que rejettent les centrales électriques il se réagit avec d'autres substances chimiques présentes dans l'atmosphère et donne lieu à la formation de particule de sulfate.

Ces particules fines ont été associées à des graves problèmes de santé chez les humains, et particulièrement chez les enfants, les vieux et les gens ayant une maladie pulmonaire comme l'asthme. [15]

Les émissions de SO_2 jouent un rôle important dans la formation des pluies acides, ceux-ci peuvent causer des effets néfastes sur le poisson, l'agriculture, les forêts et les immeubles. [15]

1.10.2. Les techniques utilisées pour diminuer les gaz polluants :

Pour diminuer les rejets des gaz polluants dans l'ère, il existe plusieurs techniques, comme : [12]

- L'optimisation de l'écoulement de puissance et diminuer les pertes dans les réseaux, c'est le cas de notre travail.
- Utilisation de combustibles moins polluants et de meilleure qualité. Comme charbon et du fioul qui contenant moins de soufre.

- Le lavage des fumées avant qu'elles n'atteignent la cheminée pour les débarrasser du soufre et de l'azote (dénitrification, désulfuration) et des poussières qu'elles contiennent.
- Des technologies de combustion performantes peu ou pas du tout polluantes.
- Le passage aux énergies renouvelables.

1.11. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre un aperçu sur l'architecture, la structure et la modélisation des réseaux électriques. Nous avons présenté aussi quelques informations sur les gaz polluants ainsi leurs impacts dans l'environnement. À la fin, nous avons proposé quelques techniques pour diminuer les gaz polluants.



CHAPITRE 2 : Ecoulement de puissance optimal

2.1. Introduction :

Les réseaux électriques sont considérés comme des systèmes très complexes. Principalement en raison de leur large couverture géographique et leurs diverses transactions entre les différents services publics et la diversité des configurations et la taille des équipements utilisés par les entreprises d'électricité individuelles. Les ingénieurs ont besoin d'outils spéciaux pour analyser, surveiller et contrôler de manière optimale les différents aspects d'un tel système. Certains de ces outils sont la répartition économique, l'engagement des unités, l'estimation de l'état, le contrôle automatique de la génération et le flux de puissance optimal (OPF). [16]

2.2. Concept général de l'écoulement de puissance optimale :

Le problème de l'écoulement de puissance est résolu pour la détermination en régime permanent les tensions complexes au niveau des jeux barres du réseau, à partir de lesquelles les transits des puissances actives et réactives dans chaque ligne et transformateur sont calculés. L'ensemble des équations représente le réseau électrique et de nature non linéaire. Pratiquement, dans les méthodes de calcul d'écoulement de puissance, on exploite la configuration du réseau et les propriétés de ses équipements pour déterminer la tension complexe au niveau de chaque nœud. D'autre part, on parfaite symétrie entre les trois phases du système triphasés du réseau électrique. [17]

2.3. Objectif de l'écoulement de puissance optimale dans les réseaux électriques :

L'objectif d'un écoulement de puissance optimale et d'atteindre une valeur maximale ou minimale d'une fonction objective. [4]

L'objectif de la fonction peut-être :

- Minimiser le coût de production.

- Minimiser le taux des gaz polluants.
- Minimiser les pertes de puissance actives.
- Maximisation de la puissance transmise.
- Amélioration du profil de tension.
- Amélioration de la stabilité de tension.

Tout en s'assurant que le réseau opère de façon sécuritaire :

- $P_{min} < \text{Puissances transitées dans les lignes} < P_{max}$
- $V_{min} < \text{Tension générer} < V_{max}$
- $T_{min} < \text{Transformateur} < T_{max}$

2.4. Techniques d'optimisation :

Un problème d'optimisation consiste à chercher une instanciation d'un ensemble de variables soumises à des contraintes, de façon à maximiser ou minimiser un critère. Chaque méthode d'optimisation doit passer par trois étapes essentiels, il s'agit de l'analyse du problème et opérer un certain nombre de choix préalables, comme l'espace de recherche, fonction objective et variables de problèmes. Une fois l'analyse est terminée, le problème doit-être établi par des équations mathématiques et déduire les solutions possibles. En fin de compte c'est la déduction des solutions qui ont été évalué et qui ont un potentiel.

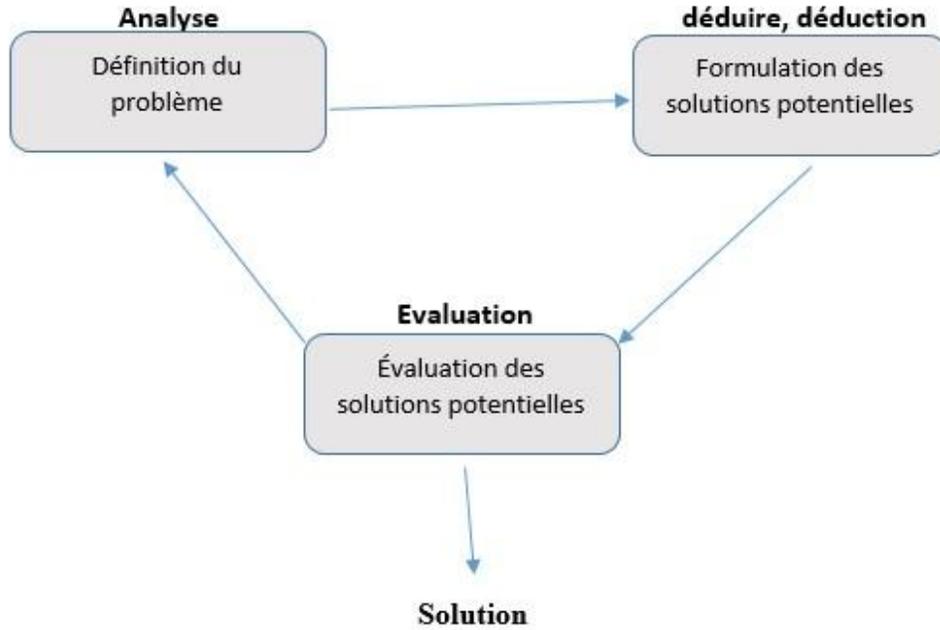


Figure 2.1 : processus d'optimisation

2.5. Formulation générale du problème pour l'écoulement de puissance optimale :

Le but de l'OPF est d'optimiser un certain objectif soumis à plusieurs contraintes d'égalité et d'inégalité. Les contraintes sont des lois physiques qui régissent le comportement du système et les limites de conception des appareils et des stratégies de fonctionnement. Ce genre de problème est considéré généralement comme un problème non-linéaire. Le problème peut être modélisé mathématiquement comme suit :

$$\text{Min } F(x, u) \quad (2.1)$$

Avec :

$$g(x, u) = 0 \text{ (Contraintes d'égalités)} \quad (2.2)$$

$$h(x, u) \leq 0 \text{ (Contraintes d'inégalités)} \quad (2.2)$$

On a :

x : Est le vecteur des variables d'état.

u : Est le vecteur des variables de contrôle.

$F(x, u)$: Est la fonction objective à optimiser.

$g(x, u)$: Représente les équations de l'écoulement de puissance.

$h(x, u)$: Comporte les limites des variables d'état et des contraintes.

2.5.1. Fonction objective :

Le choix de la fonction objective devrait être basé sur de meilleurs analyse de sécurité et de l'économie du système d'alimentation. Généralement la fonction objective est représentée par une fonction non-linéaire du 2ème ordre :

$$\text{Min } F = \sum_{i=1}^{Ng} f(P_{Gi}) = \sum_{k=1}^{Ng} (a_i + b_i P_{Gi} + C_i P_{Gi}^2) \quad (2.4)$$

Avec :

$$f(P_{Gi}) = (a_i + b_i P_{Gi} + C_i P_{Gi}^2) \quad (2.5)$$

Et :

P_{Gi} : c'est la puissance active générées au nœud i .

a_i, b_i, C_i : les coefficient du coût.

2.5.2. Contraintes d'égalité :

Ces contraintes sont l'image des lois physiques gouvernant le système électrique. Elles sont représentées par les équations non linéaires de l'écoulement de puissance. Il faut que la somme des puissances actives injectées dans chaque jeu de barres soit égale à la puissance active demandé plus les pertes. [11]

$$\sum P_{Gi} = \sum P_{Di} + \text{Pertes} \quad (2.6)$$

2.5.3. Contraintes d'inégalité :

Le rôle des contraintes d'inégalités est de maintenir la sécurité du système électrique. Les lignes de transport et les transformateurs de puissances ont des limites sur le transit de puissance total qui circule dans le réseau électrique. Cependant, des pertes des puissances actives peuvent être mises en jeu, ces dernières sont dues aux pertes thermiques dans les conducteurs. [11]

$$P_{min} < \text{Puissances Générées} < P_{max}$$

$$V_{min} < \text{Tensions générées} < V_{max}$$

$$T_{min} < \text{Transformateur} < T_{max}$$

2.6. Méthodes de résolution des problèmes d'optimisation :

Face à la résolution d'un problème d'optimisation, il est important de bien identifier à quelle catégorie ce problème appartient. En effet, les algorithmes développés sont conçus pour résoudre un type de problème donné. La classification des problèmes d'optimisation change d'un auteur à l'autre. Par exemple, on distingue :

2.6.1. Les problèmes d'optimisation :

Les problèmes Mono-objectif sont définis par une seule fonction objectif. Un problème d'optimisation Multi-objective peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes, sa difficulté principale est qu'il n'existe pas une définition de la solution optimale. Le décideur peut simplement exprimer le fait qu'une solution est préférable par rapport à une autre mais il n'existe pas une solution meilleure que toutes les autres. [17]

2.6.2. Les problèmes d'optimisation déterministe ou stochastique :

Les problèmes d'optimisation déterministe considèrent que les données sont connues parfaitement, alors que dans les problèmes d'optimisation stochastique, ce

n'est pas le cas, par exemple une approche stochastique peut être pertinente dans le cas où les variables d'un problème sont les ventes futures d'un produit. Dans ce cas, l'incertitude peut être introduite dans le modèle.

2.6.3. Méthode d'optimisation Heuristiques :

Une heuristique est une stratégie de bon sens pour se déplacer intelligemment dans l'espace des solutions, afin d'obtenir une solution approchée, la meilleure possible, dans un délai de temps raisonnable.

2.6.3.1. Méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 :

La méthode de Runge-Kutta du quatrième ordre, est une technique numérique utilisée pour résoudre les équations différentielles ordinaires de la forme :

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x), \quad x(t_0) = x_0 \quad (2.7)$$

Notée dans la littérature comme RK 4, est l'une des méthodes les plus populaires et les plus utilisées dans le domaine de l'ingénierie, en raison de sa précision. Un autre avantage de ce procédé est également la simplicité de l'algorithme de calcul.

La méthode De Runge-Kutta d'ordre 4 est donnée par :

$$x(0) = x_0 \quad (2.8)$$

$$k_1 = hf(t_i, x(t_i)) \quad (2.9)$$

$$k_2 = hf(t_i + \frac{h}{2}, x(t_i) + \frac{1}{2}k_1) \quad (2.10)$$

$$k_3 = hf(t_i + \frac{h}{2}, x(t_i) + \frac{1}{2}k_2) \quad (2.11)$$

$$k_4 = hf(t_i + h, x(t_i) + k_3) \quad (2.12)$$

$$x(t_{i+1}) = x(t_i) + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \text{ avec: } i = 0, 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2.13)$$

2.6.3.2. Méthode de Newton-Raphson :

Cette méthode est la plus utilisée pour résoudre les équations non linéaires, dans l'écoulement de puissance. [9]

Soit une fonction scalaire, si cette fonction elle est continue et dérivable au voisinage de x_n , alors son développement en série de TAYLOR au voisinage $x_n = \bar{x}$ est :

$$f(\bar{x}) = f(x_n) + \frac{(\bar{x}-x_n)}{1!} f'(x_n) + \frac{(\bar{x}-x_n)^2}{2!} f''(x_n) + \dots \quad (2.14)$$

Si x_n est estimé proche de x . Alors, les termes de degrés supérieurs sont négligeables et le carré de l'erreur est de $\epsilon_n = \bar{x} - x_n$.

Sachant que $f(\bar{x}) = 0$ on obtient donc la relation approximative :

$$f(x_n) + (\bar{x} - x_n)f'(x_n) \approx 0 \quad (2.15)$$

D'où :

$$\bar{x} = \frac{x_n \cdot f'(x_n) - f(x_n)}{f'(x_n)} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2.16)$$

Et dans le cas général :

$$x_{(n+1)} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad \text{Avec : } (n = \text{entier}) \quad (2.17)$$

n : C'est le nombre d'itération

On peut donc écrire :

$$x_{(n+1)} = x_n + \epsilon_n \quad (2.18)$$

Avec :

$$\epsilon_n = -\frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2.19)$$

2.6.3.3. Application de la méthode de Newton-Raphson dans l'écoulement de puissance :

Cette méthode est la plus utilisée pour résoudre les équations non linéaires exprimant les puissances actives et réactives en fonction des tensions nodales : La puissance injectée apparente au nœud i est : [9]

$$S_{Gi} = P_{Gi} + j \cdot Q_{Gi} = V_i \cdot I'_i \quad (2.20)$$

Les tensions des nœuds et les admittances des lignes sont exprimées sous forme polaire :

$$V_i = |V_i| \angle \theta_i \quad \text{et} \quad V_j = |V_j| \angle \theta_j \quad (2.21)$$

$$Y_{ij} = G_{ij} + j \cdot B_{ij} = |Y_{ij}| \angle \delta_{ij} \quad (2.22)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j \quad (2.23)$$

$$S_{gi} = P_{gi} + j \cdot Q_{gi} = \sum_{j=1}^n V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij} \angle \theta_i - \theta_j - \delta_{ij} \quad (2.24)$$

En séparant les parties réelles et imaginaires, on obtient :

$$\begin{cases} P_{Gi} = \sum_{j=1}^n V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij} \cdot \cos(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij}) \\ Q_{Gi} = - \sum_{j=1}^n V_i \cdot V_j \cdot Y_{ij} \cdot \sin(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij}) \end{cases} \quad (2.25)$$

Nous utilisons les équations qui donnent les puissances. Pour que on peut déterminer les éléments du matrice Jacobéenne, les variations des puissances sont les différences entre les valeurs planifiées et calculées :

$$\Delta P_i = P_{Gi}^{spec} - P_{Gi}^{cal} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cdot \cos \theta_{ij} + j \cdot B_{ij} \cdot \sin \theta_{ij}) \quad (2.26)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Gi}^{spec} - Q_{Gi}^{cal} = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cdot \sin\theta_{ij} - j \cdot B_{ij} \cdot \cos\theta_{ij}) \quad (2.27)$$

Avec :

ΔP_i : la différence entre les puissances actives spécifiées P_{Gi}^{spec} et calculées P_{Gi}^{cal} .

ΔQ_i : la différence entre les puissances réactives spécifiées Q_{Gi}^{spec} et calculées Q_{Gi}^{cal} .

P_{Gi}^{spec} , Q_{Gi}^{spec} : puissances actives et réactives spécifiées générées au nœud i .

P_{Gi}^{cal} , Q_{Gi}^{cal} : puissances actives et réactives calculées générées au nœud i .

G_{ij} : la conductance entre les JDB i et JDB j .

B_{ij} : la susceptance entre les JDB i et JDB j .

θ_{ij} , Y_{ij} : les modules et arguments des éléments de la matrice d'admittance.

La méthode de Newton-Raphson exige un système d'équation qui exprime les relations entre les variations de puissances actives et réactives et celle des composantes réelles et imaginaires des tensions nodales. Le développement des équations est donné comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dP_1}{dV_1} & \dots & \frac{dP_1}{dV_{n-1}} & \frac{dP_1}{d\theta_1} & \dots & \frac{dP_1}{d\theta_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{dP_{n-1}}{dV_1} & \dots & \frac{dP_{n-1}}{dV_{n-1}} & \frac{dP_{n-1}}{d\theta_1} & \dots & \frac{dP_{n-1}}{d\theta_{n-1}} \\ \frac{dQ_1}{dV_1} & \dots & \frac{dQ_1}{dV_{n-1}} & \frac{dQ_1}{d\theta_1} & \dots & \frac{dQ_1}{d\theta_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{dQ_{n-1}}{dV_1} & \dots & \frac{dQ_{n-1}}{dV_{n-1}} & \frac{dQ_{n-1}}{d\theta_1} & \dots & \frac{dQ_{n-1}}{d\theta_{n-1}} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta V_{n-1} \\ \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta \theta_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Ce système peut se représenter sous une forme matricielle simplifiée :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dP}{dV} & \frac{dP}{d\theta} \\ \frac{dQ}{dV} & \frac{dQ}{d\theta} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta V_i \\ \Delta \theta_i \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

La variable ΔV peut s'exprimer comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{ij} & N_{ij} \\ M_{ij} & L_{ij} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta V_i \\ \Delta \theta_i \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Tel que :

$$H_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_{ij}} \quad (2.31)$$

$$N_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial \theta_{ij}} \quad (2.32)$$

$$M_{ij} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_{ij}} \quad (2.33)$$

$$L_{ij} = \frac{\partial Q_{ij}}{\partial \theta_{ij}} \quad (2.34)$$

Avec :

$H_{ij}, N_{ij}, M_{ij}, L_{ij}$: Ce sont les sous matrice de la Jacobéenne J.

2.7. Classification des variables :

2.7.1. Variables de contrôle :

Ce sont les variables qui peuvent être ajustées à la solution optimale, et sont :

- Les puissances actives générées P, sauf le bus de référence.
- Le rapport de transformation.
- Les amplitudes de tension aux jeux de barres.

2.7.2. Variables dépendantes ou d'état :

- Ce sont les puissances actives générées et de référence.
- Les rapports des transformateurs.
- Les amplitudes des tensions et leurs angles de phase aux jeux de barres.

2.8. Types des nœuds :

Pour résoudre un problème de flux de puissance, le système est supposé être opérant dans des conditions d'équilibre en utilisant le modèle monophasé. Chaque bus doit être associé par 4 grandeurs. Ce sont l'amplitude de tension $|V|$, l'angle de phase δ , la puissance active P et la puissance réactive Q . Les nœuds d'un système sont généralement classés en trois types :

2.8.1. Nœud de référence :

Il est connu en anglais sous l'appellation « SLACK-BUS ». Ce nœud est pris comme référence où l'amplitude et l'angle de phase de la tension sont supposés connus. On le prend en considération pour faire la différence entre l'énergie générée et demandée.

2.8.2. Nœud de charge : (PQ)

On l'appelle un nœud (PQ) par ce que la puissance active et réactive dans ce nœud sont connues. L'amplitude et l'angle de phase des tensions sont inconnus. Et il est connecté avec la charge.

2.8.3. Nœud de génération : (PV)

On l'appelle un nœud (PV) par ce que la puissance active et la tension dans ce nœud sont connues. L'angle de phase de la tension et la puissance réactive sont à déterminer. Et il est connecté avec un générateur où une source d'énergie active.

2.9. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre le problème de l'écoulement de puissance optimale avec quelques méthodes de résolution comme Runge-Kota et Newton Raphson, ainsi que les différentes contraintes et ce dans le but de trouver une solution optimale qui peut satisfaire notre fonction objective.



CHAPITRE 3 : Algorithmes d'optimisation

3.1. Introduction :

Les solutions de l'OPF sont des outils cruciaux dans le fonctionnement d'un réseau électrique. Il s'agit d'un flux d'énergie astucieux qui utilise des algorithmes d'optimisation pour réguler de manière optimale les paramètres de contrôle du réseau électrique au milieu de diverses contraintes. De nombreux algorithmes d'optimisation ont été utilisés pour traiter le problème OPF, comme la programmation non-linéaire, l'algorithme de Newton-Raphson et Gauss-Seidel, la programmation quadratique et les algorithmes de décomposition. [20]

Le développement important des ordinateurs ces dernières années a entraîné une tendance à résoudre les problèmes d'OPF en utilisant des techniques d'optimisation inspirées de la nature. Plusieurs techniques d'optimisation stochastique ont été proposées, et utilisées pour traiter les problèmes d'OPF, tels que l'optimisation de l'essaim de particules (PSO), l'algorithme génétique (GA), l'algorithme de colonie d'abeilles (BCA), l'évolution différentielle (DE), l'algorithme de recherche d'harmonie (HS), l'algorithme distribué (DA) et l'optimisation des herbes invasives (IWO). [20]

3.2. Optimisation par essais de particule :

L'optimisation par essais de particules (PSO) est une méthode d'intelligence des essaims inspirée du comportement social d'un troupeau d'oiseaux ou d'un banc de poissons, développée pour l'algorithme d'optimisation globale par J. Kennedy et R. Eberhart en 1995. Elle est devenue l'une des techniques les plus populaires appliquées à divers problèmes d'optimisation, en raison de sa facilité et de sa capacité à trouver des solutions optimales. [22] [21]

3.2.1. Idées de base :

Le PSO utilise un certain nombre de particules qui constituent un essaim. Chaque particule parcourt l'espace de recherche à la recherche de l'optimum global (minimum ou maximum). Dans un système PSO, les particules volent dans un espace de recherche multidimensionnel. Pendant le vol, chaque particule régule sa position en fonction de sa propre expérience et de l'expérience des particules voisines, en utilisant la meilleure position rencontrée par elle-même et ses voisins. La direction d'essaim d'une particule est définie par l'ensemble des particules voisines de la particule et son expérience précédentes. [22] [21]

Le déplacement d'une particule est influencé par les trois composantes suivantes : [23]

1. Une composante d'inertie : la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement.
2. Une composante cognitive : la particule tend à se diriger vers le meilleur site par lequel elle est déjà passée.
3. Une composante sociale : la particule tend à se fier à l'expérience de ses congénères et ainsi à se diriger vers le meilleur site déjà atteint par ses voisins.

La stratégie de déplacement d'une particule est illustrée dans la figure suivante : [23]

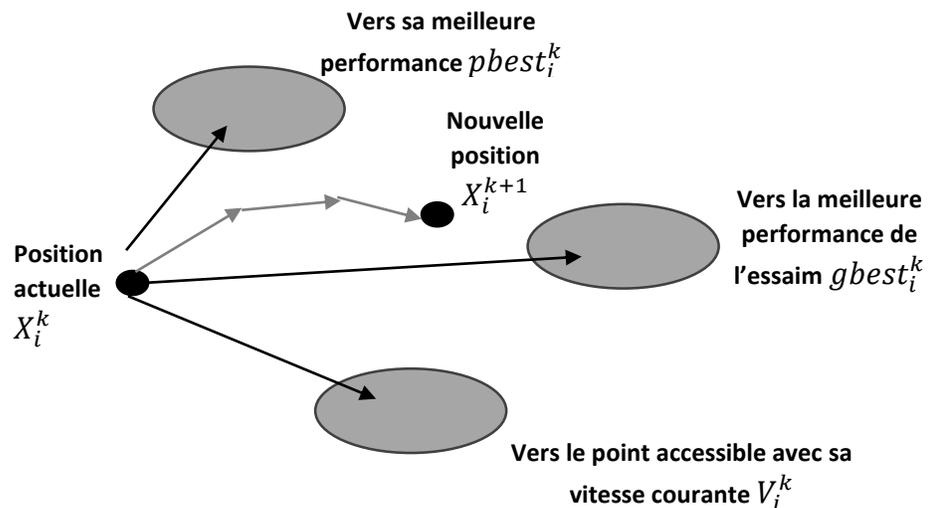


Figure 3.1 : déplacement d'une particule. [23]

3.2.2. Algorithme générale :

Dans la méthode PSO, le mouvement de chaque particule dans la population est déterminé via sa position (coordonnée de la particule x) et sa vitesse (vitesse de vol v). Pendant le mouvement, la vitesse de la particule est modifiée dans le temps et sa position sera mise à jour en conséquence. Pour l'implémentation dans un problème d'optimisation à n dimensions, les vecteurs de position et de la vitesse de la particule P_r sont représentés par : [21]

$$x_{pr} = [x_{1pr}, x_{2pr}, \dots \dots x_{npr}] \text{ et } v_{pr} = [v_{1pr}, v_{2pr}, \dots \dots v_{npr}] \quad (3.1)$$

Respectivement. La meilleure position précédente de la particule P_r est basée sur l'évaluation de la fonction de fitness représentée par : [21]

$$pbest_{pr} = [p_{1pr}, p_{2pr}, \dots \dots p_{npr}] \quad (3.2)$$

Et la meilleure particule parmi toutes les particules représentées par $gbest$. La vitesse et la position modifiées de chaque particule peuvent être calculées comme indiqué dans la formulation suivante : [21]

$$V_i^{k+1} = C_0 V_i^k + C_1 \times rand_1 \times (pbest_i^k - X_i^k) + C_2 \times rand_2 \times (gbest_i^k - X_i^k) \quad (3.3)$$

Avec :

C_0 : coefficient d'inertie.

C_1, C_2 : coefficient d'accélération.

$rand$: nombre aléatoire entre 0 et 1.

V_i^k : la vitesse de la particule à l'itération k .

X_i^k : la position de la particule à la l'itération k .

$pbest_i^k$: la meilleure position de la particule i jusqu'à l'itération k .

$gbest_i^k$: la meilleure position de l'essaim jusqu'à l'itération k .

x_{pr} : vecteur de position de la particule.

v_{pr} : vecteur de vitesse de la particule.

$p_{best_{pr}}$: la meilleure particule parmi toutes les particules.

Chaque particule change sa position actuelle vers la nouvelle position en ajoutant la vitesse modifiée à l'aide de l'équation suivante : [21]

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.4)$$

En générale le coefficient d'inertie C_0 décroît linéairement de max C_1 à min C_2 selon l'équation suivante : [21]

$$C_0 = C_{max} - \frac{C_{max}-C_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (3.5)$$

Avec :

X_i^{k+1} : la nouvelle position de la particule.

$iter_{max}$: le nombre maximal des itérations.

$iter$: le nombre des itérations actuel.

3.2.3. Les étapes de la méthode d'optimisation par essaim de particule :

L'algorithme de cette méthode peut être décrit comme suit : [17]

1ère étape

Initialisation des coefficients C_1 et C_2 , le coefficient d'inertie C_0 .

2ème étape

La création de la population initiale aléatoirement (les positions et les vitesses des particules sont Initialisés aléatoirement) et le calcul de la fitness de chaque particule P_{best} et g_{best} .

3ème étape

Le calcul de la nouvelle vitesse et nouvelle position de chaque particule par l'utilisation des formules (3.3) et (3.4).

4ème étape

Le calcul de la meilleure fitness de la population actuel et comparer avec la précédente pour trouver la meilleure de toutes les populations (g_{best_i}).

5ème étape

Incrémentation du nombre d'itération $k = k + 1$.

6ème étape

Si un critère d'arrêt est satisfait alors passer à la 7^{ème} étape. Si non, aller à la 3^{ème} étape.

7^{ème} étape

La position enregistrée dans ($gbest_i$) est la solution optimale.

3.2.4. Organigramme de PSO :

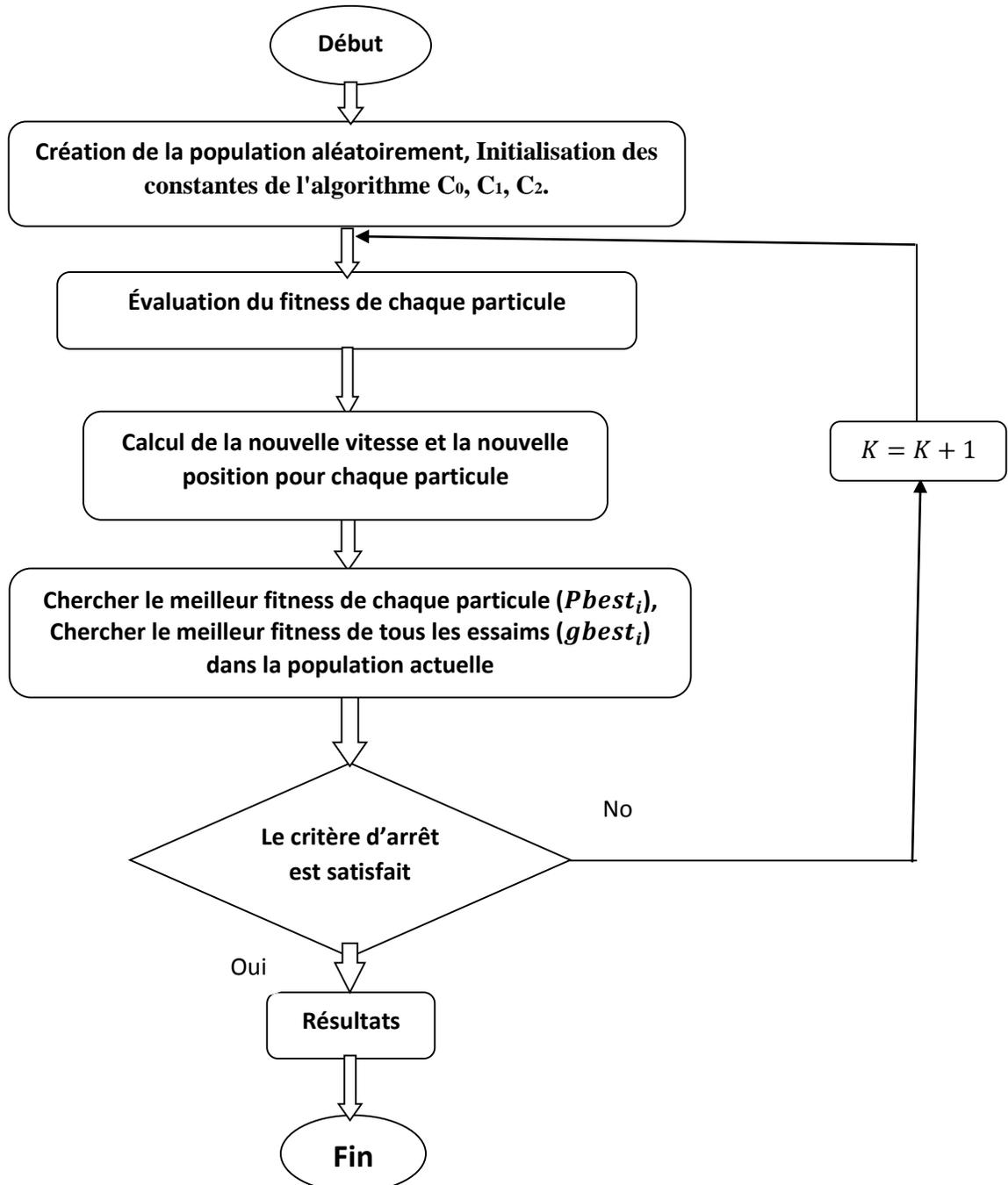


Figure 3.2 : Organigramme de la méthode de PSO. [9]

3.2.5. Le voisinage :

Le voisinage constitue la structure du réseau social. Chaque particule va communiquer avec les autres particules à l'aide d'une topologie de voisinage.

Différents voisinages ont été étudiés (Kennedy, 1999) et sont considérés en fonction des identificateurs des particules et non des informations topologiques comme les distances euclidiennes dans l'espace de recherche. Et la (figure 3.3) nous montre les différentes topologies. [9]

- Topologie en étoile (figure 3.3 (a)) : chaque particule est reliée à toutes les autres, c'est-à-dire que l'optimum du voisinage est l'optimum global.
- Topologie en anneau (figure 3.3 (b)) : chaque particule communique avec n voisines (en général $n = 3$). Chaque particule tend à se déplacer vers la meilleure dans son voisinage local.
- Topologie en rayon (figure 3.3 (c)) : une particule "centrale" est connectée à tous les autres. (Les particules ne communiquent qu'avec une seule particule centrale).

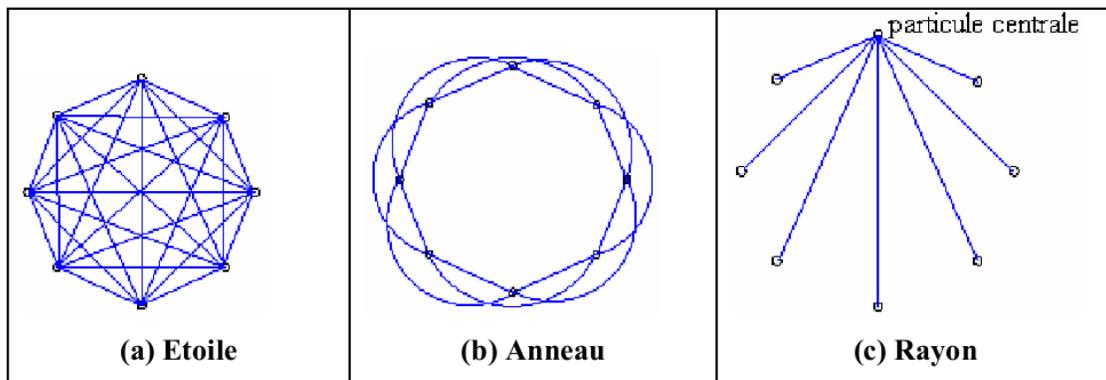


Figure 3.3 Topologies de voisinage. [9]

3.2.6. Synthèse de l'algorithme :

En considérant un voisinage en étoile l'algorithme est le suivant : [9]

[Les variables et paramètres de l'algorithme]

n nombre de particules, $X_i, V_i, P_i, Pbest_i, gbest_i, C_1, C_2, rand_1, rand_2$

[Initialisations]

.....

[Traitement]

Répéter

Pour i allant de 1 à n faire

Si la valeur *fitness* de est meilleur que $Pbest_i$

Alors mettre cette valeur comme nouveau $Pbest_i$

Fin

Si la valeur de *fitness* est meilleur que $gbest_i$

Alors mettre cette valeur comme nouveau $gbest_i$

Fin

Pour i de 1 à n

$$V_i^{k+1} = C_0 V_i^k + C_1 \times rand_1 \times (pbest_i^k - X_i^k) + C_2 \times rand_2 \times (gbest_i^k - X_i^k)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1}$$

Fin pour

Jusqu'à ce que (le processus converge)

3.3. Algorithme des herbes invasive :

L'invasion des herbes est un phénomène qui cherche l'optimalité et trouve le meilleur environnement pour la vie, et il s'adapte rapidement aux conditions environnementales et résiste aux changements.

En tenant compte de ces caractéristiques, un algorithme d'optimisation numérique simple a été développé par Mehrabian et Lucas en 2006, qui est basé sur une mauvaise herbe colonisée appelée « l'algorithme d'optimisation des mauvaises herbes envahissantes ». [24]

L'algorithme d'optimisation des herbes invasives, (invasive weed optimisation algorithm (IWO)) est une méthode d'optimisation évolutive basée sur une population inspirée du comportement des colonies d'herbes. [24]

3.3.1. Idée de base :

Les mauvaises herbes envahissent un champ par dispersion aléatoire et couvrent les zones inutilisées trouvées entre les cultures. Chaque mauvaise herbe envahissante prend des ressources inutilisées de ces zones, fleurit et fait pousser des graines puis produit de manière indépendante de nouvelles mauvaises herbes. Le nombre de nouvelles graines produites par chaque mauvaise herbe à fleurs dépend de l'aptitude de la mauvaise herbe à fleurs dans la colonie. Avec un plan mieux adapté à l'environnement et plus d'espace de ressources inutilisé, les mauvaises herbes poussent plus vite et obtiennent plus de graines. [24]

Les graines produites sont réparties au hasard sur le champ et se transforment en mauvaises herbes à fleurs. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le nombre maximum de mauvaises herbes dans le champ soit atteint en raison des ressources limitées dans le champ. Après le dénombrement des mauvaises herbes, seules les mauvaises herbes

mieux adaptées peuvent survivre et produire de nouvelles mauvaises herbes. Ce qui permet au mauvaises herbes de s'adapter et bien se développer au fil du temps. [24]

L'expression général de cet algorithme :

$$x_i^{k+1} = \sigma(t) \times x_i^k + \sigma(k) \times rand \times (pbest_i^k - x_i^k) \quad (3.6)$$

Avec :

x_i^{k+1} : la position de la particule à l'itération $k + 1$.

x_i^k : la position de la particule à l'itération k .

$\sigma(k)$: L'écart-type actuel.

$pbest_i^k$: la meilleure position de la particule i jusqu'à l'itération k .

$rand$: nombre aléatoire entre 0 et 1.

3.3.2. Étapes de la méthode d'optimisation par IWO :

Cet algorithme est simple mais efficace pour la convergence vers des solutions optimales utilisant des fonctionnalités de base telles que l'ensemencement, la croissance et la compétition dans une colonie. [25]

Pour simuler le comportement des mauvaises herbes dans l'habitat, certaines caractéristiques de base du processus sont considérées comme suit :

- (1) Initialisation de la population primaire : un nombre limité de graines sont distribués dans l'espace de recherche.
- (2) Reproduction : chaque graine devient une plante à fleurs et produit des graines qui dépendent de leur valeur de fitness. Le nombre de graines produites par chaque plante augmente linéairement de la production minimale de graines à son maximum.

- (3) Propagation spectrale : Les graines produites par le groupe dans la distribution normale avec une position moyenne de plantation et de l'écart-type, sont produites par l'équation suivante :

$$\sigma(t) = \left(\frac{T-t}{T}\right)^n (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (3.7)$$

Avec :

T : le nombre maximal des itérations.

t : le nombre des itérations actuel.

$\sigma(t)$: Les graines produites dans la distribution.

$\sigma_{initial}$: L'écart-type initiale.

σ_{final} : L'écart-type finale.

n : Est l'indice de modulation non-linéaire.

- (4) Carence compétitive : Si le nombre d'herbes dépasse le nombre maximum des herbes dans la colonie P_{max} , l'herbe la moins bonne est retirée de la colonie, de tel sorte qu'un nombre constant d'herbes reste toujours dans la colonie.

P_{max} : nombre maximum des herbes dans la colonie.

- (5) Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le nombre maximum d'itérations soit atteint, puis la fonction de coût minimum de colonie des herbes sont stockées.

3.3.3. Organigramme d'optimisation par IWO :

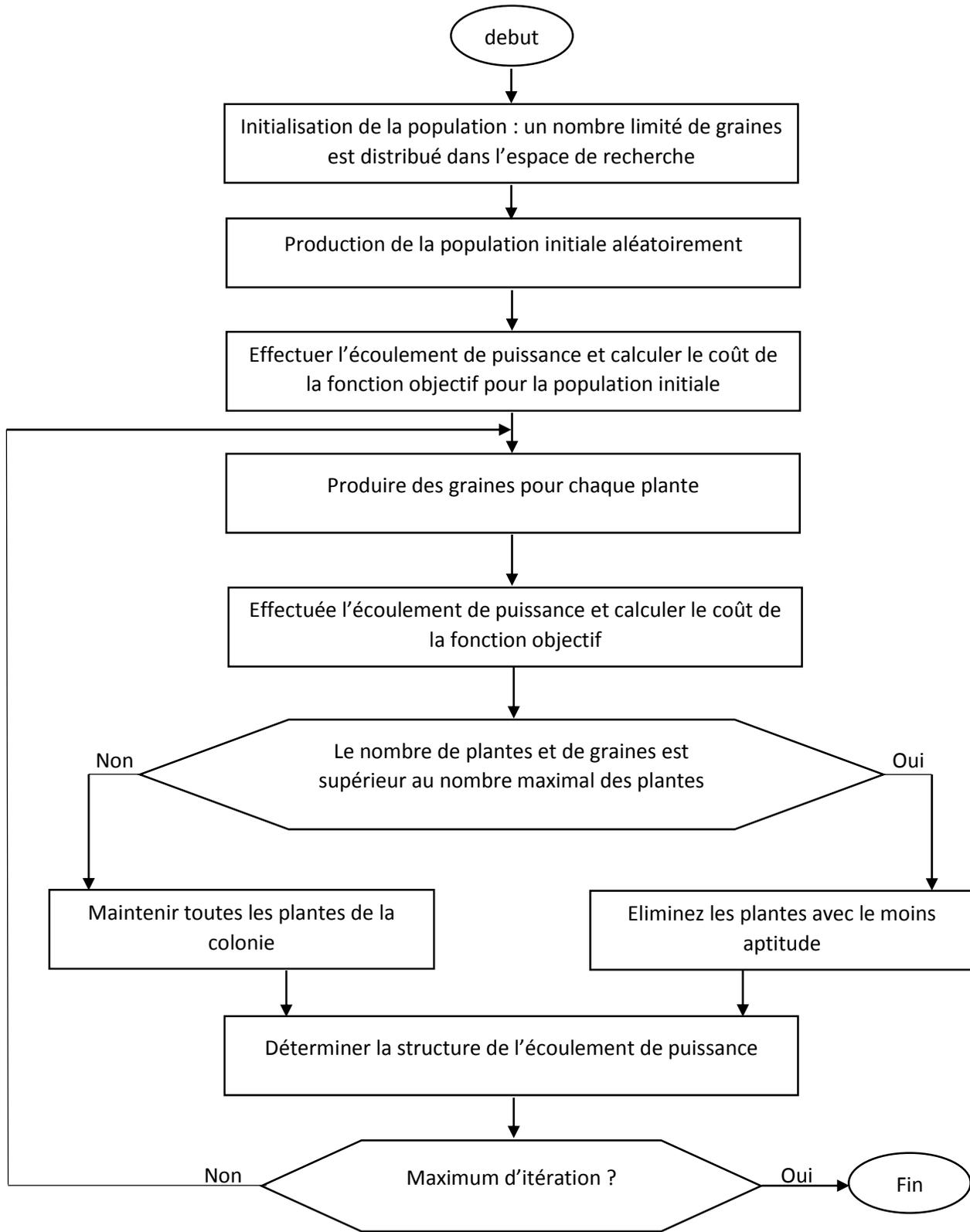


Figure 3.4 : organigramme de la méthode IWO. [25]

3.3.4. Formulation du problème de l'écoulement de puissance :

Le problème de l'écoulement de puissance pour être modelé mathématiquement comme suite :

$$\text{Min } f(x, u) \quad (3.8)$$

Avec :

$$g(x, u) = 0 \quad (3.9)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (3.10)$$

On a :

$g(x, u) = 0$: c'est les contraintes d'égalités.

$h(x, u) \leq 0$: c'est les contraintes d'inégalités.

x : c'est le vecteur des variables d'état.

$$X = [P_1 \dots P_i, V_1 \dots V_i, T_1 \dots T_{iT}] \quad (3.11)$$

u : c'est le vecteur des variables de contrôle.

$$U = [P_{G2} \dots P_{Gn}, V_{G1} \dots V_{Gn}, T_1 \dots T_{nT}] \quad (3.12)$$

3.3.4.1. Les contraintes du système :

Les contraintes d'égalités :

$g(x, u)$ C'est les contraintes d'égalités dans l'OPF, et ces contraintes se sont l'image des lois physique régissent le système électrique.

$$\sum P_{Gi} - \sum P_{Di} - Pertes = 0 \quad (3.13)$$

Les contraintes d'inégalités :

$h(x, u)$ C'est les contraintes d'inégalités dans l'OPF, le rôle de ces contraintes est de maintenir la sécurité du système électrique. Ces contraintes sont limitées entre un minimum et un maximum.

$$P_{Gi}^{\min} < V_{Gi} < P_{Gi}^{\max} \quad (3.14)$$

$$V_{Gi}^{\min} < P_{Gi} < V_{Gi}^{\max} \quad (3.15)$$

$$T_i^{\min} < T_i < T_i^{\max} \quad (3.16)$$

3.3.4.2. La fonction objective du coût :

L'objectif est de minimiser le coût de production de la puissance active, en satisfaisant les contraintes impliquées, le coût est modélisée par la fonction objective suivante :

$$F_{cost} = \sum_{i=1}^{ng} (a_i + b_i P_{gi} + C_i P_{gi}^2) \quad (3.17)$$

Où :

a_i, b_i et c_i : sont les coefficients de coût du carburant des générateurs.

P_{gi} : est la puissance réelle du générateur.

3.3.4.3. La fonction objective des émissions :

L'objectif de la fonction est de minimiser l'émission de tous les unités thermiques, la fonction objective des émissions de gaz peut être modélisée comme suit :

$$F_{emission} = \sum_{i=1}^{ng} (\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2) \quad (3.18)$$

Où :

α_i, β_i et γ_i : sont les coefficients d'émission.

P_{gi} : est la puissance réelle du générateur.

3.4. Conclusion :

Contrairement au chapitre précédent où on avait donné des méthodes heuristiques dans ce chapitre nous présentant des méthodes méta-heuristique pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance optimale. Ces méthodes qui consistent de l'essaim de particules, et l'invasion des herbes comme nouvelle méthode proposée.



CHAPITRE 4 : Simulations et résultats

4.1. Introduction :

Dans ce chapitre on s'intéresse à résoudre le problème de l'optimisation de l'écoulement de puissance en considération du coût de la production de puissance active ainsi la pollution due à l'émission de gaz. A cet effet nous avons appliqué l'algorithme de l'optimisation par les herbes invasives (IWO).

L'algorithme proposé est développé sous l'environnement Matlab (Matpower) et validé sur les réseaux de test IEEE 9 et 14 jeux de barres, les données du réseau de test sont présentées dans l'annexe.

Une comparaison est faite entre différents algorithmes tel que l'essaim de particule.

Dans ce chapitre on a considéré 2 fonctions objectives principale à minimiser et ce sont :

Le coût de la production des puissance actives.

L'émission des gazes polluants.

Les pertes de puissance active.

Paramètres de l'algorithme IWO :

Réglage de paramètres de IWO pour les réseaux 9 et 14 JDB a pour objectif de minimisation du coût :

Paramètres	Valeur
Taille de la population	40
<i>Itérations</i>	2000
<i>Indice de modulation</i>	7
<i>sigma_initial (initial standard deviation)</i>	0.75
<i>sigma_final (final standard deviation)</i>	0.4

Tableau 4.1 : Paramètres de contrôle de IWO pour les réseaux à 9 et 14 JDB.

4.2. Réseau à 09 JDB :

Le schéma suivant présente un réseau équivalent IEEE à 9 Jeux de barres, ce réseau comporte 3 générateurs et 12 lignes de transmission.

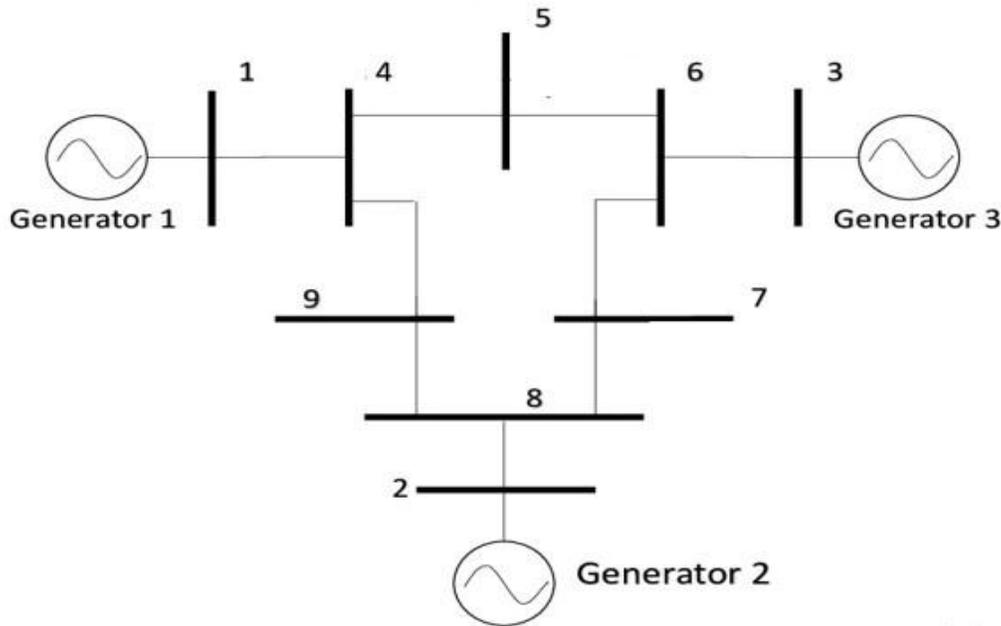


Figure 4.1 : Schéma du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.

4.2.1. Minimisation du coût :

4.2.1.1. Résultats pour l'optimisation du coût :

Dans ce cas-là, on constate que l'algorithme IWO donne un coût de production inférieur par rapport au coûts de production obtenus avec l'état optimal et le PSO, le (tableau 4.2) illustre les résultats obtenus.

Variables	Inferieure	Supérieures	OPF	IWO	PSO	Ecart1(%)	Ecart2(%)		
PG1(MW)	10	300	89.8	89.8	89.8	0	0		
PG2(MW)	10	300	134.32	134.3110	134.3079	0.000067	0.0148		
PG3(MW)	10	270	94.19	94.2114	94.2665	0.00022	0.0743		
VG1 (p.u)	0.9	1.1	1.1	1.10	1.0989	0	0.909		
VG2 (p.u)	0.9	1.1	1.097	1.10	1.0997	0.0027	0.182		
VG3 (p.u)	0.9	1.1	1.087	1.10	1.079	0.011	0.735		
Cost (\$/h)			5296.69	5295.76	5297.16	0.00017	0.000088		
			Ecart1= (optimal-IWO) /optimal					Ecart2= (optimal-PSO)/optimal	

Tableau 4.2 : Les valeurs optimales pour chaque essai avec l'écart et les coûts de production pour un réseau standard IEEE à 9 JDB.

4.2.1.2. Présentation des figures :

Pour l'algorithme du PSO :

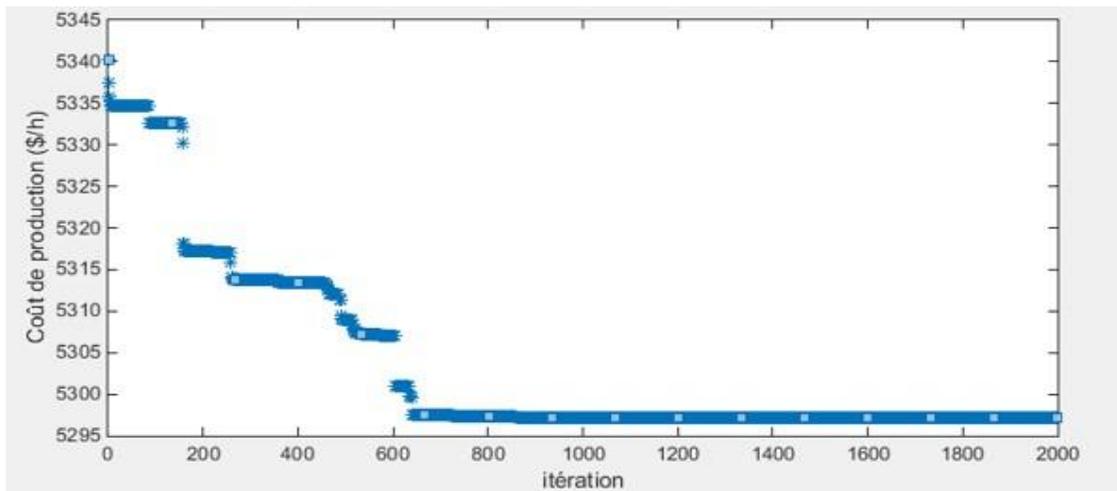


Figure 4.2 : Convergence de PSO pour un réseau à 9 JDB. [9]

Pour l'algorithme du IWO :

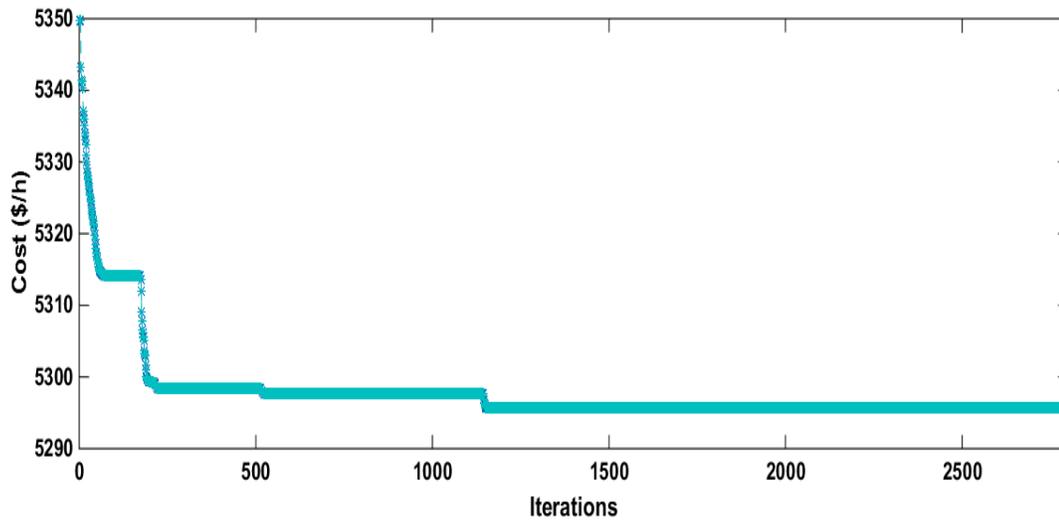


Figure 4.3 : Convergence de IWO pour un réseau à 9JDB.

En terme de rapidité de convergence on remarque que l'algorithme de PSO est plus rapide par rapport à IWO.

4.2.1.3. Comparaison entre les résultats obtenus :

Cette figure illustre les tensions générées aux jeux de barres 1, 2 et 3 par les 3 algorithmes, IWO et PSO et l'état optimale.

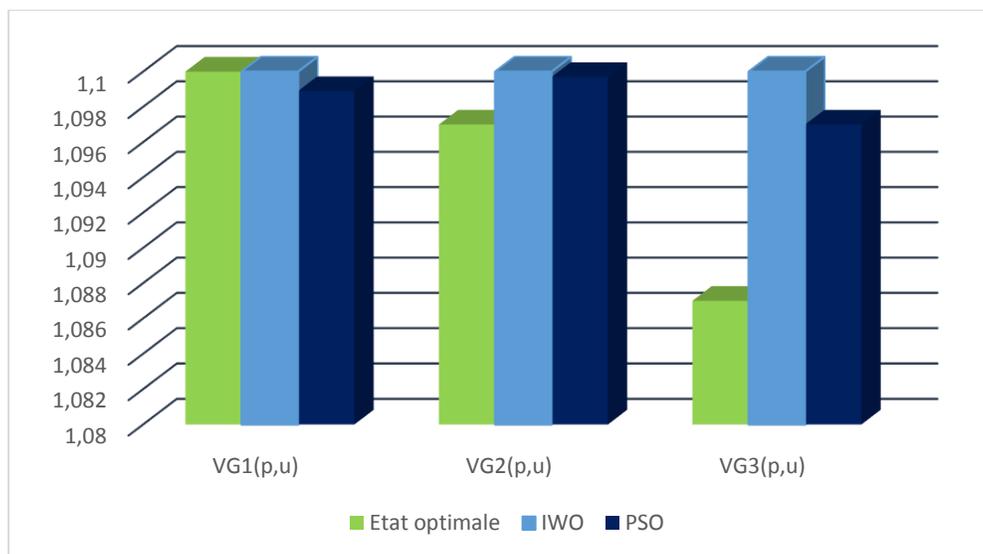


Figure 4.4 : Les tensions Générées pour le réseau de 9 JDB.

On constate que les tensions générées par IWO dans les trois JDB sont meilleurs par rapport au PSO et l'état optimale.

4.2.2. Calcul des pertes de puissance active :

$$Pertes = P_{Loss} = \sum P_{Gi} - \sum P_{Di}$$

Sachant que la puissance demandée dans ce réseau à une valeur de 315MW. Donc :

Pour l'état optimale :

$$Pertes = (Pg1+Pg2+Pg3)-Pd = (89.80+134.32+94.19)-315 = 318.31-315 = 3.31\text{MW}$$

Pour le IWO :

$$Pertes = (Pg1+Pg2+Pg3)-Pd = (89.80+134.311+94.2114)-315 = 318.3224-315 = 3.3224\text{MW}$$

Pour le PSO :

$$Pertes = (Pg1+Pg2+Pg3)-Pd = (89.80+134.3079+94.2665)-315 = 318.3744-315 = 3.3744\text{MW}$$

Et ce tableau résume les résultats obtenus :

paramètres	Puissance générée(OPF)	Puissance générée(IWO)	Puissance générée(PSO)
PG1(MW)	89.8	89.8	89.8
PG2(MW)	134.32	134.311	134.3079
PG3(MW)	94.19	94.2114	94.2665
Puissance générée total	318.31	318.3224	318.3744
Pertes	3.31	3.3224	3.3744

Tableau 4.3 : Les valeurs des puissances totales générées et les pertes de puissance actives pour le réseau à 9 JDB.

L'algorithme de IWO à réduire les pertes par rapport au PSO, mais quand on compare par rapport à l'état optimal il n'a pas bien optimisé les pertes de puissance active.

4.2.3. Minimisation des gaz polluants :

4.2.3.1. Résultats d'optimisation des gaz polluants :

Variables	Inferieure	Supérieures	IWO
PG2(MW)	10	300	104.0445
PG3(MW)	10	270	127.8861
VG1 (p.u)	0.9	1.1	1.0997
VG2 (p.u)	0.9	1.1	1.0957
VG3 (p.u)	0.9	1.1	1.0997
Emission (ton/h)			1862.5712

Tableau 4.4 : Les valeurs optimales obtenues par l'algorithme de IWO pour un réseau à 9 JDB.

4.2.3.2. Présentation de la figure :

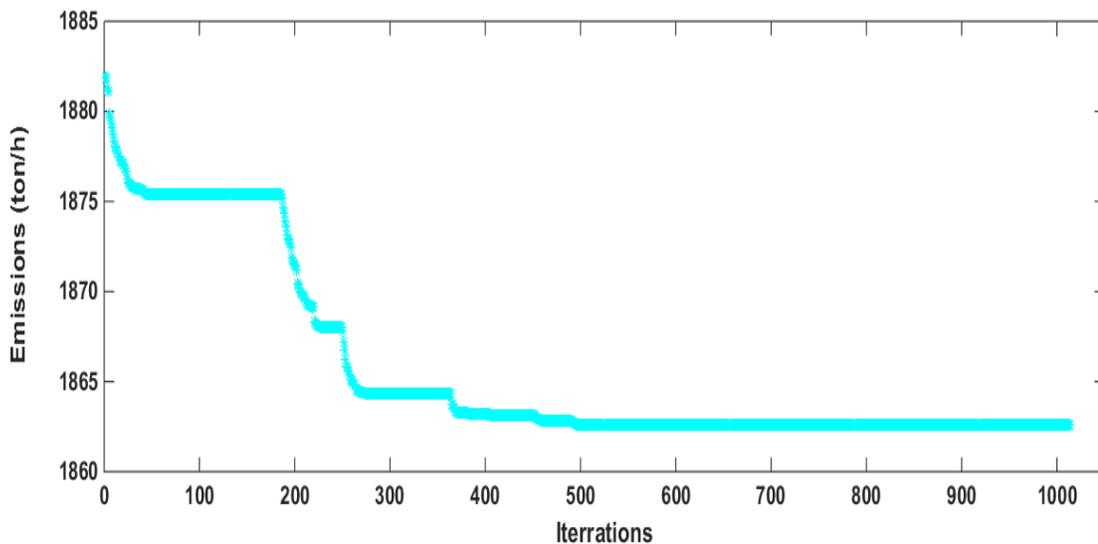


FIGURE 4.5 : Convergence de IWO pour un réseau à 9JDB pour la minimisation des gaz polluants.

4.3. Réseau à 14 JDB :

Le schéma suivant présente un réseau équivalent IEEE à 14 Jeux de barres, ce réseau comporte 5 générateurs et 25 lignes de transmission.

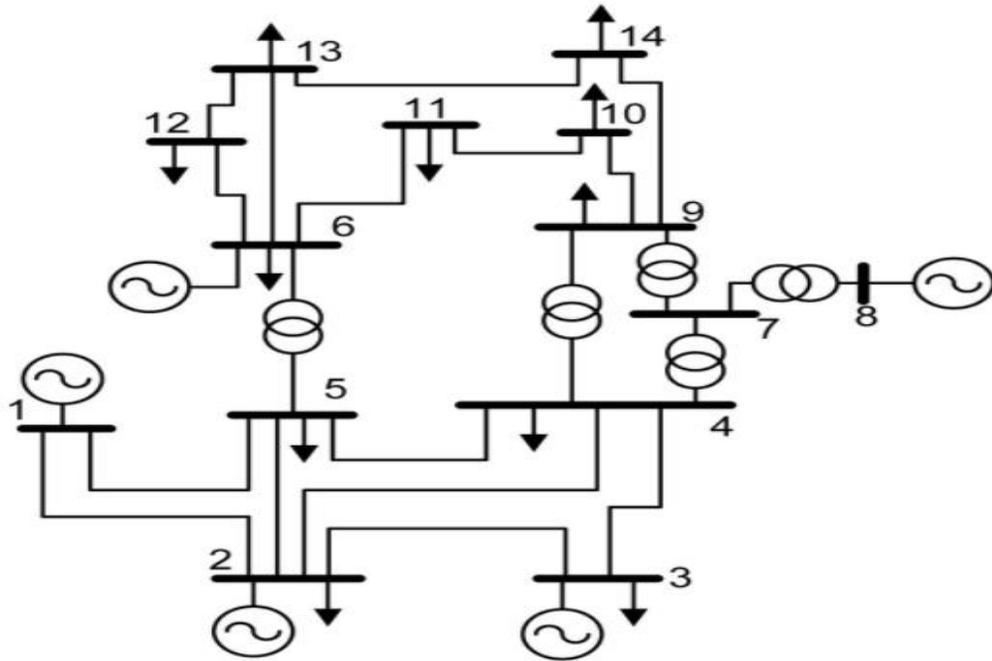


Figure 4.6 : Schéma du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.

4.3.1. Minimisation du coût :

4.3.1.1. Résultats pour l'optimisation du coût :

Dans ce cas-là, on constate que l'algorithme IWO donne un coût de production inférieur (optimiser) par rapport aux coûts de production obtenus avec l'état optimal et le PSO, le (tableau 4.5) illustre les résultats obtenus.

Variables	Inférieure	Supérieures	OPF	IWO	PSO	Ecart1	Ecart2
PG1(MW)	0	140	194.39	194.39	194.39	0	0
PG2(MW)	0	140	36.73	37.0701	36.525	0.00925	0.00558
PG3(MW)	0	100	28.61	30.5441	28.5904	0.06760	0.000685
PG6(MW)	0	100	0	0.5423	0	0	0
PG8(MW)	0	100	8.55	4.6727	8.7109	0.45348	0.018
VG1 (p.u)	0.94	1.06	1.06	1.06	1.06	0	0
VG2 (p.u)	0.94	1.06	1.044	1.0462	1.0456	0.00210	0.00153
VG3 (p.u)	0.94	1.06	1.019	1.0217	1.0238	0.00264	0.00471
VG6 (p.u)	0.94	1.06	1.06	1.06	1.06	0	0
VG8 (p.u)	0.94	1.06	1.06	1.06	1.06	0	0
T1 (4-7)	0.9	1.1	0.978	0.9577	0.9728	0.02075	0.00531
T2 (4-9)	0.9	1.1	0.969	0.9696	0.9638	0.00061	0.00536
T3 (5-6)	0.9	1.1	0.932	1.0148	0.9716	0.08884	0.0424
Cost (\$/h)			8081.19	8077.6433	8078	0.00043	0.00039474
Ecart1= (optimal-IWO) /optimal			Ecart2= (optimal-PSO)/optimal				

Tableau 4.5 : Les valeurs optimales pour chaque essai avec l'écart et les coûts de production Pour un réseau à 14 JDB.

4.3.1.2. Présentation des figures :

Pour l'algorithme PSO :

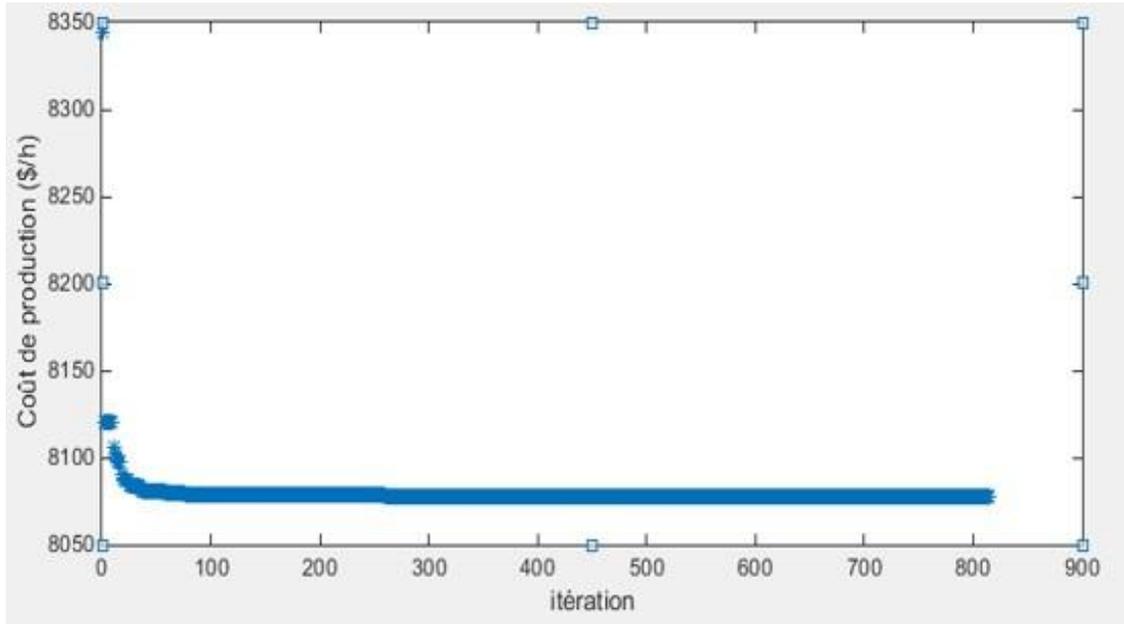


Figure 4.7 : Convergence de PSO pour un réseau à 14 JDB. [9]

Pour l'algorithme IWO :

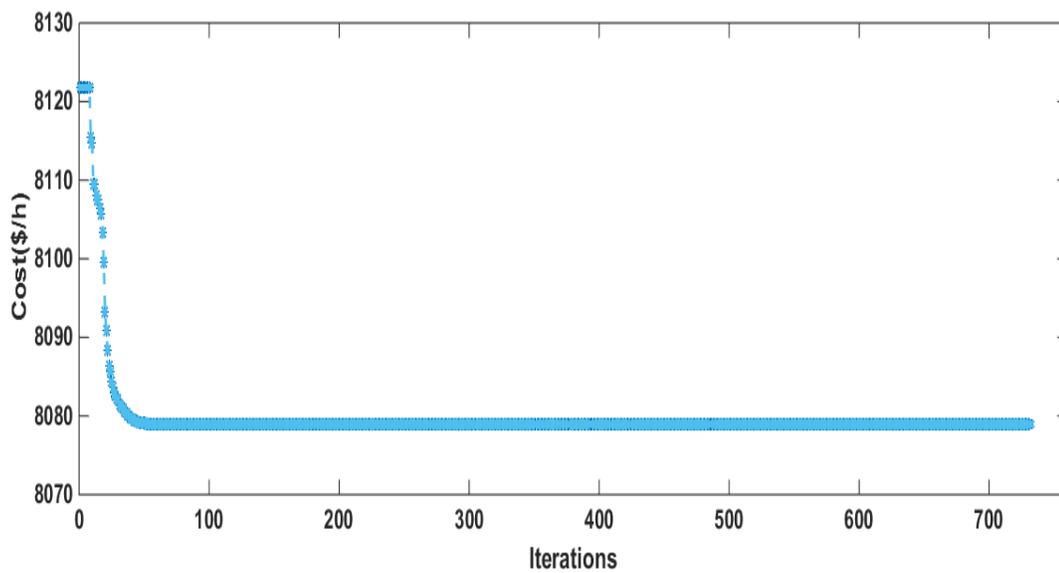


Figure 4.8 : Convergence de IWO pour un réseau de 14 JDB.

En terme de rapidité de convergence on remarque que l’algorithme de IWO est plus rapide par rapport au PSO.

4.3.1.3. Comparaison entre les résultats obtenus :

Cette figure montre les tensions générées aux jeux de barres 2, 3, 6 et 8 par les 3 différentes méthodes.

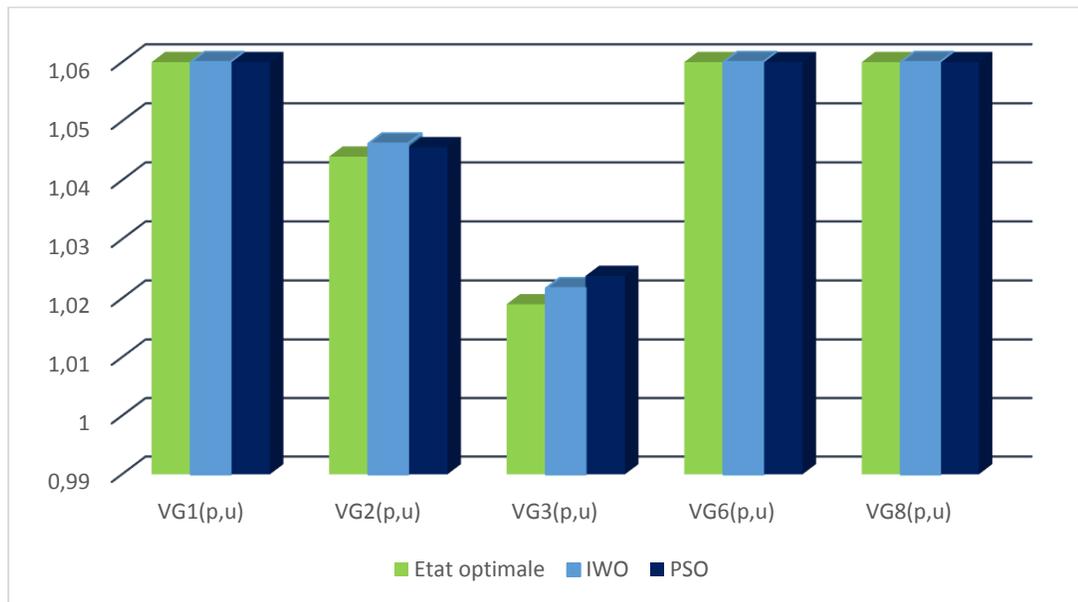


Figure 4.9 : Les tensions Générées pour le réseau de 14 JDB.

On constate que les tensions générées par IWO sont égales par rapport au PSO et l’état optimal dans les JDB 1, 6 et 8. Par contre, c’est le meilleur dans le deuxième JDB. Dans le troisième JDB c’est la tension générée par le PSO qu’elle était la meilleure.

4.3.2. Calcul des pertes de puissance active :

$$Pertes = P_{Loss} = \sum P_{Gi} - \sum P_{Di}$$

Sachant que la puissance demandée de ce réseau à une valeur de 259MW

Pour le l’état optimale :

$Pertes = (Pg1+Pg2+Pg3+Pg6+Pg8)-Pd = (194.39+36.73+28.61+0+8.55)-259 = 268.28-259 = 9.28 \text{ MW}$

Pour le IWO :

$Pertes = (Pg1+Pg2+Pg3+Pg6+Pg8)-Pd = (194.39+37.0701+30.5441+0.5423+4.6727)-259 = 267.2192-259 = 8.2192 \text{ MW}$

Pour le PSO :

$Pertes = (Pg1+Pg2+Pg3+Pg6+Pg8)-Pd = (194.39+36.2550+28.5904+0+8.7109)-259 = 267.9463-259 = 8.9463 \text{ MW}$

Et ce tableau résume les résultats obtenus :

Variables	Puissance générée(OPF)	Puissance générée(IWO)	Puissance générée(PSO)
PG1(MW)	194.39	194.39	194.39
PG2(MW)	36.73	37.0701	36.5250
PG3(MW)	28.61	30.5441	28.5904
PG6(MW)	0	0.5423	0
PG8(MW)	8.55	4.6727	8.7109
Puissance générée total (MW)	268.28	267.2192	268.2163
Pertes (MW)	9.28	8.2192	8.9463

Tableau 4.6 : Les valeurs des puissances totales générées et les pertes de puissance active pour le réseau 14 JDB.

En remarque que l'algorithme des herbes invasives IWO à bien optimiser les pertes par rapport aux résultats obtenus avec le PSO et l'état optimal.

4.3.3. Minimisation des gaz polluants :

4.3.3.1. Résultats d'optimisation des gaz polluants :

Variables	Inférieure	Supérieures	IWO
PG2(MW)	0	140	44.5348
PG3(MW)	0	100	56.7294
PG6((MW)	0	100	70.13
PG8(MW)	0	100	55.0904
VG1 (p.u)	0.94	1.06	0.9406
VG2 (p.u)	0.94	1.06	0.9405
VG3 (p.u)	0.94	1.06	0.9424
VG6 (p.u)	0.94	1.06	0.9442
VG8 (p.u)	0.94	1.06	0.9410
T1 (4-7)	0.9	1.1	0.9090
T2 (4-9)	0.9	1.1	0.9094
T3 (5-6)	0.9	1.1	0.9061
Emission (ton/h)			637.9728

Tableau 4.7 : Les valeurs optimales pour chaque essai avec l'écart et les coûts de production pour un réseau à 9 JDB.

4.3.3.2. Présentation de la figure :

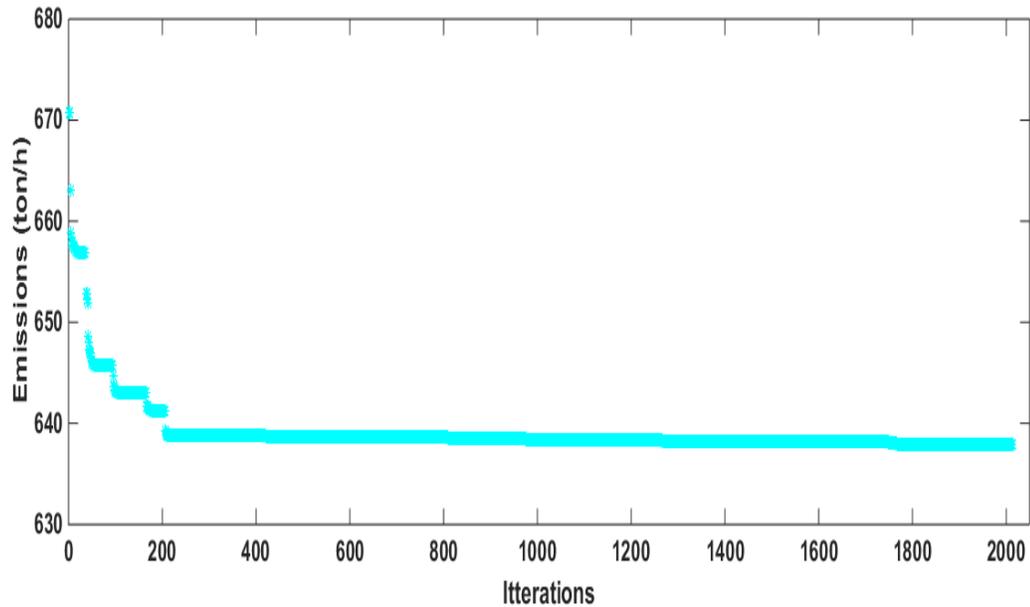


FIGURE 4.10 : Convergence de IWO pour un réseau à 14JDB pour la minimisation des gaz polluants.

La courbe de IWO à converger après 1750 itérations.

Discussion :

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour faire un écoulement de puissance, que ce soit par des méthodes heuristiques ou méta-heuristiques. Chaque méthode à ces avantages et ces inconvénients, deux méthodes méta-heuristiques on était testés, il s'agit de l'optimisation par les herbes invasives et l'optimisation par essaims de particules, afin de simuler l'écoulement de puissance optimale et comparer les résultats obtenus.

4.4. Conclusion:

Les résultats obtenus dans ce chapitre résument que la simulation de l'algorithme des herbes invasives IWO dans l'écoulement de puissance pour les deux réseaux IEEE9 et IEEE14 jeux de barres nous a donné des meilleurs résultats où bien des résultats optimiser en terme de coût de production, meilleur profil de tension et des pertes réduites dans le réseau IEEE 14JDB, par rapport à celles obtenues avec les deux autres algorithmes PSO et l'état optimal.



CONCLUSION GENERALE

Les réseaux électriques c'est l'infrastructure qui relie la production et la consommation, ils ont le rôle d'acheminer l'électricité dans des lignes aériennes ou souterraines, avec différents niveaux de tension.

Les techniques de l'intelligence artificielle ont commencé à s'implanter et faire partie de plusieurs domaines techniques. Parmi ces techniques d'intelligence artificielle on a l'optimisation par essaims de particules et l'optimisation par les herbes invasives.

Dans cette thèse on a appliqué la méthode d'optimisation par les herbes invasives dans l'écoulement de puissance, pour but de minimisation du coût de production des puissances actives et la minimisation de l'émission des gaz polluants, avec considération des pertes totales de puissance active en respectant les contraintes d'égalités et d'inégalités du système, afin d'assurer une gestion optimale du réseau.

Les deux méthodes représentées on était appliqué sur des réseaux internationaux IEEE 9 et 14 JDB.

Les résultats obtenus ont démontré que le IWO à donner des meilleurs résultats par rapport à celle obtenus avec le PSO, en terme de minimisation du coût et les pertes de puissance active, cela revient principalement aux paramètres de réglage pour chaque algorithme d'optimisation.

Pour l'avenir nous proposons de faire une intégration des énergies renouvelables aux réseaux électriques algérien, en considérant les contraintes techniques et économiques utilisant l'intelligence artificielle.

ANNEXE

Réseau électrique standard à 9 jeux de barres :

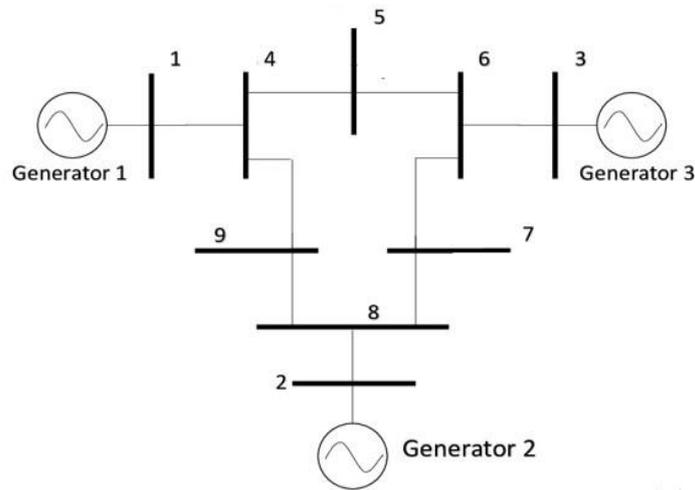


Figure A.1 : Schéma du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.

Bus-i	Type	Pd	Qd	Vm	Vmin	Vmax
1	3	0	0	1	0.9	1.1
2	2	0	0	1	0.9	1.1
3	2	0	0	1	0.9	1.1
4	1	0	0	1	0.9	1.1
5	1	90	30	1	0.9	1.1
6	1	0	0	1	0.9	1.1
7	1	100	35	1	0.9	1.1
8	1	0	0	1	0.9	1.1
9	1	125	50	1	0.9	1.1

Tableau A.1: Données du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.

Bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	Pmax	Pmin
1	0	0	300	-300	1	250	10
2	163	0	300	-300	1	300	10
3	85	0	300	-300	1	270	10

Tableau A.2: Données des générateurs du réseau standard IEEE à 9 jeux de barres.

Réseau électrique standard à 14 jeux de barres :

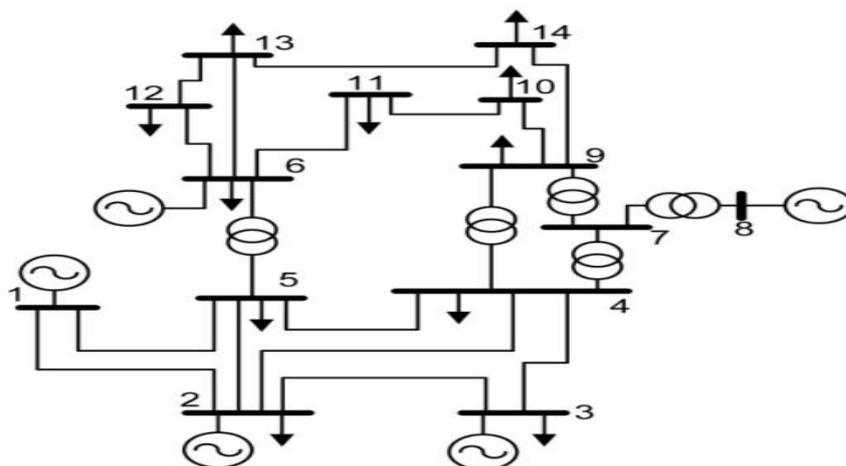


Figure A.2 : Schéma du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.

Bus-i	Type	Pd	Qd	Vm	Vmin	Vmax
1	3	0	0	1.06	0.94	1.06
2	2	21.7	12.7	1.045	0.94	1.06
3	2	94.2	19	1.01	0.94	1.06
4	1	47.8	-3.9	1.019	0.94	1.06
5	1	7.6	1.6	1.02	0.94	1.06
6	2	11.2	7.5	1.07	0.94	1.06
7	1	0	0	1.062	0.94	1.06
8	2	0	0	1.09	0.94	1.06
9	1	29.5	16.6	1.056	0.94	1.06
10	1	9	5.8	1.051	0.94	1.06
11	1	3.5	1.8	1.057	0.94	1.06
12	1	6.1	1.6	1.055	0.94	1.06
13	1	13.5	5.8	1.05	0.94	1.06
14	1	14.9	5	1.036	0.94	1.06

Tableau A.3: Données du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.

Bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	Pmax	Pmin
1	232.4	-16.9	40	-20	1.06	232.4	0
2	40	42.4	50	-40	1.045	140	0
3	0	23.4	40	0	1.01	100	0
6	0	12.2	24	-6	1.07	100	0
8	0	17.4	24	-6	1.09	100	0

Tableau A.4: Données des générateurs du réseau standard IEEE à 14 jeux de barres.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Alain Doulet, Pierre Bornard**, Réseaux électriques-Avant-propos, Article de référence D4000 v2, 2013.
- [2] **Matt Cole**, 3 phase Associates, Basic Explanation of the Electric Power Grid, 2018. (lien)
- [3] **Zeroual Mokhtaria**, Optimisation et contrôle de l'écoulement de puissance active par système FACT, Magistère en Electrotechnique, Université Mohamed-Boudiaf de Oran, Algérie, 2015.
- [4] **Wael Amor**, écoulement de puissance pour les réseaux de grande dimension et mal-conditionnés, mémoire de master en génie électrique, Université de Québec, Canada, 2018.
- [5] **Mr Draïdi Abdellah**, Répartition optimale des puissances utilisant les techniques de l'intelligence artificielle, Doctorat en Science en Electrotechnique, Université des frères Mentouri de Constantine, Algérie, 2016.
- [6] **Site web**, Maxicours, les centrales électriques.
- [7] **Site web**, Techno-Science.net
- [8] **Philippe Ferracci**, CT-199 La qualité de l'énergie électrique, 2001.
- [9] **Abdelmadjid demardji, Abbou abdeljalil**, Optimisation et contrôle de l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques, Mémoire de Master en machine électrique, Université Saad Dahleb Blida 1, Algérie, 2020.
- [10] **Mr Athmane Bouzidi**, Modélisation et simulation des réseaux électriques, Cours, Université A/Mira de Bejaïa, Algérie.
- [11] **Ahmed Salhi**, Contribution à l'optimisation de l'écoulement de puissance en utilisant la logique floue associé aux réseaux de neurones (Neuro-Floue), Thèse de Doctorat en Science, Université Mohamed-Khider de Biskra, Algérie, 2015.
- [12] **Site web**, edf.fr
- [13] **Site web**, www.rte-france.com
- [14] **Site web**, Agence internationale de l'énergie.com, 2018.
- [15] **Paul j. miller, Chris van atten**, Les émissions atmosphériques des centrales électriques, 2004.
- [16] **M. El-Hawary, M. R. Alrachidi**, Hybrid particle swarm optimization approach for solving the discrete OPF Problem Considering the valve effects, 2007.

BIBLIOGRAPHIE

- [17] **Ahmed Ould Nagi**, Optimisation de l'écoulement de puissance par algorithmes : AG et PSO-TVAC, Mémoire de Master en Réseaux Électrique, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 2014.
- [18] **Mme Boudissa**, Méthode numérique appliquée et optimisation(MNOA), Techniques d'optimisation, Université de Blida 1, Algérie.
- [19] **Alexandre besner**, Ecoulement de puissance optimal avec contraintes de stabilité transitoire pour réseaux hygrothermiques, Mémoire de Maitrise en Génie Electrique, Université de Québec, Canada, 2017.
- [20] Warid warid, Hashim hizam, Optimal Power Flow Using the Jaya Algorithm, Malaysia, 2016.
- [21] **Messaoud Belazzoug, Youcef Amrane**, Optimal reactive power planning based on Particle Swarm applied to the Algerian Electrical Power System, Algiers, Algeria, 2013.
- [22] **J. Kennedy, Eberhart**, Particle swarm optimization Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. IV, pp. 1942-1948, 1995.]
- [23] **Abbas el dor**, Perfectionnement des algorithmes d'Optimisation par Essaim Particulaire. Applications en segmentation d'images et en électronique, Thèse de Doctorat en Informatique, Université Paris-Est, Paris, France, 2012.
- [24] **Mehrabian, Lucas**, Novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization, Ecological Informatics, 2006.
- [25] **Mojgan misaghi, Mahdi yaghoobi**, Improved invasive weed optimization algorithm (IWO) based on chaos theory for optimal design of PID controller, University of Islamic azad, Mashhad, Iran, 2018.