



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والإلكتروميكانيك

Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Science et Technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Energie Renouvelable en Electrotechnique

Thème

Résolution de problème de l'écoulement de puissance optimale dans un réseau électrique en utilisant une nouvelle technique d'optimisation

Présenté par :

AMAR Belkacem

DELMA Lahcene

Soutenue publiquement le 04/06/2024

Devant le jury composé de :

AKERMI Faouzi	M.A.A	Université de Ghardaïa	Président
MANSOURI Anfal	M.A.B	Université de Ghardaïa	Encadrant
BENTOUATI Bachir	Dr	Université de Ghardaïa	Co-encadrant
BAHRI Ahmed	M.C.B	Université de Ghardaïa	Examineur
BARKAT Fadila	M.A.B	Université de Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2023/2024



DÉDICACE

Loué sois-tu, mon Seigneur, pour ta grâce abondante et la beauté de ton don et de ta présence.

Louange à Dieu, mon Seigneur, et peu importe combien nous te louons, nous ne te louerons jamais pleinement, et les prières et la paix soient sur quiconque.

Il n'y aura pas de prophète après lui.

Je dédie les fruits de ce travail à tous ceux qui m'ont soutenu et m'ont encouragé
continue à étudier

A l'âme de ma chère mère, que Dieu lui fasse miséricorde

A mon cher « père », que Dieu le protège et lui accorde une longue vie

À tous mes « frères » et « sœurs », que Dieu les protège, et à ma femme et à mes enfants, que Dieu les protège et prenne soin d'eux.

A tous mes chers « amis », à tous ceux qui m'ont appris une lettre, en particulier les deux distingués professeurs : « **Dr Anfal Mansouri** et **Dr Bin Touati Bashir** », et à tous mes professeurs dans toutes les phases, et à tous ceux que ma plume n'a pas mentionné.

"Alors soyez fier de votre savoir et ne le demandez pas en échange... car les gens sont morts et les gens de savoir sont vivants."

Belkacem





DÉDICACE

Je consacre mes efforts et mon travail à cela
A mes parents, que Dieu prolonge leur vie

A mon cher père

A ma chère mère

A mes frères et sœurs

À mes amis et collègues

À toute l'honorable famille, que Dieu prolonge leur vie et les
protège

Surtout les deux distingués professeurs : **Dr Anfal Mansouri** et **Dr Ben Touati Bashir**, et à tous mes professeurs à tous les niveaux et à tous ceux que ma plume n'a pas mentionnés.

"Alors soyez fier de votre savoir et ne le demandez pas en échange... car les gens sont morts et les gens de savoir sont vivants."



Lahcene



Merci et reconnaissance

Louange à Dieu, et les prières et la paix soient sur celui après qui il n'y a pas de prophète

Merci, avant et après, à Dieu Tout-Puissant pour la bénédiction
.de la facilitation et du succès

.Celui qui ne remercie pas les gens ne remercie pas Dieu

J'adresse mes sincères remerciements aux distingués professeurs et au personnel administratif

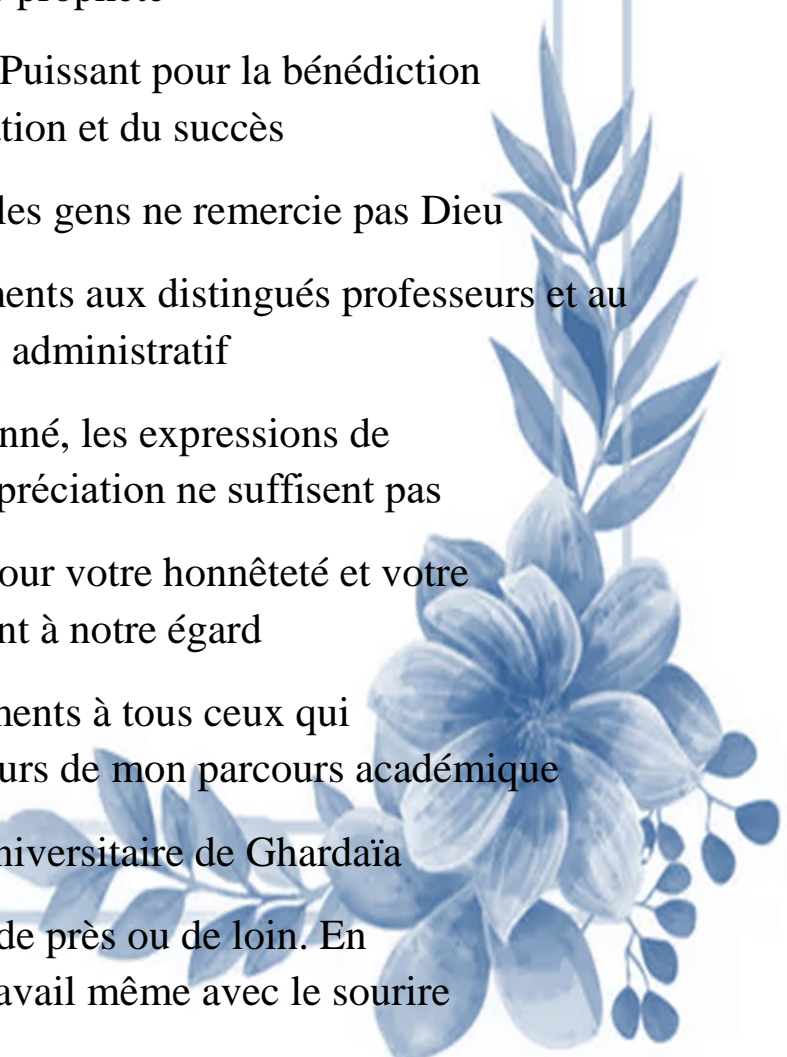
Pour ce que vous nous avez donné, les expressions de remerciement et d'appréciation ne suffisent pas

Nous sommes très fiers de vous pour votre honnêteté et votre don constant à notre égard

J'adresse également mes remerciements à tous ceux qui m'ont appris une lettre au cours de mon parcours académique

Surtout la famille universitaire de Ghardaïa

Et à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin. En ..accomplissant ce travail même avec le sourire



Liste des tableaux

Liste des tableaux

Liste des tableaux		
Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Type de jeux de barres	6
Tableau III.1	Paramètres de contrôle utilisés dans MFO, AMFO	32
Tableau III.2	Valeur optimal des variables de contrôle pour le cas 1	33
Tableau III.3	Comparaison de la valeur de déviation de tension	35
Tableau III.4	Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 2	36
Tableau III.5	Comparaison de l'indice de stabilité de la tension	37
Tableau III.6	Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 3	38
Tableau III.7	Comparaison des pertes de transmission de puissance active	39
Tableau III.8	Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 4	40
Tableau III.9	Comparaison des pertes de transmission de puissance réactive	41
Tableau III.10	Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 5	42
Tableau III.11	Comparaison de nos méthodes proposée avec différents algorithmes	43

Liste des Figure

Liste des figures

Liste des figure		
Figure	Titre	Page
Figure I.1	Réseau de production et de transport Algérien	5
Figure II.1	Les étapes de résolution d'un problème d'optimisation	15
Figure II.2	Classification des méthodes d'optimisation	16
Figure II.3	Quelques sources d'inspiration des techniques méta-heuristiques	17
Figure II.4	Classification des Méthodes Méta-heuristiques	18
Figure II.5	Orientation Transversale	20
Figure II.6	Vol en spirale du papillon autour de sources de lumière proches	20
Figure II.7	Logarithmique spirale, autour d'une flamme en fonction de t	22
Figure II.8	Chaque papillon est assigné à une flamme	23
Figure II.9	Organigramme de l'optimisation optimal par MFO	25
Figure II.10	Organigramme de l'optimisation optimal par AMFO	27
Figure III.1	Schéma unifilaire du système de test IEEE à 30 bus	31
Figure III .2	Variation de cout de combustible	33
Figure III.3	Variation du profil de tension	35
Figure III.4	Variation de l'indice de la stabilité de la tension	37
Figure III.5	Variation de pertes de transmission de puissance active	39
Figure III.6	Minimisation des pertes de transmission de puissance réactive	41

Liste des acronymes

Liste des abréviations

Liste des acronymes	
Acronymes	Nomination
$V_1 \dots V_n$	Variables d'état de la tension des nœuds amplitude
$\delta_1 \dots \delta_n$	Variables d'état d'angle des phases
$P_1 \dots P_n$	La puissance active des nœuds
$Q_1 \dots Q_n$	La puissance réactive des nœuds
T	Rapport des transformateurs
PQ	Nœud de charge
PV	Nœud de générateur
U	Variables de contrôle
X	Variables d'état
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
OPF	L'écoulement de puissance optimal
AMFO	L'algorithme d'optimisation adaptative Moth-Flame
MFO	L'algorithme d'optimisation Moth-flame
PSO	Optimisation par essaims de particules
BHBO	Optimisation basée sur le trou noir
FPA	Algorithme de pollinisation des fleurs
VAR	Volt-ampère-réactif

+

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace.....	
Dédicace.....	
Remerciements.....	
Liste des tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des abréviations.....	III
Table des matières.....	IV
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux électriques et écoulement de puissance.....	3
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition et organisation de réseau électrique.....	4
I.3 Classification des jeux de barre.....	5
I.3.1 Jeu de barres de référence.....	5
I.3.2 Jeu de barre à tension contrôlée.....	6
I.3.3 Jeu de barre de charge.....	6
I.4 Écoulement de puissance.....	7
I.5 Classification des variables des équations de l'écoulement de puissance.....	7
I.5.1 Variables de perturbation (Variables non contrôlées).....	7
I.5.2 Variables d'états.....	7
I.5.3 Variables de contrôle.....	7
I.6 Écoulement de puissance optimale.....	8
I.6.1 Domaine d'application de l'écoulement de puissance optimal.....	8
I.6.2 Formulation mathématique de l'écoulement de puissance optimal.....	10
I.6.3 Formulation d'OPF pour minimisation du coût de production.....	11
I.6.3.1 Fonction objective du coût.....	11
I.6.3.2 Formulation d'OPF pour améliorer du profil de tension.....	11
I.6.3.3 Formulation d'OPF pour l'amélioration de la stabilité de tension.....	11
I.6.3.4 Formulation d'OPF pour minimisation des pertes de transmission de puissance active....	13
I.6.3.5 Formulation d'OPF pour minimisation des pertes de transmission de puissance réactive.	13
I.7 Conclusion.....	13
CHAPITRE II : Méthodes d'optimisation méta-heuristique.....	

II.1 INTRODUCTION	15
II.2 Définition de l'optimisation.....	15
II.3 Les méthodes méth-heuristiques.....	16
II.4 Classification des méthodes méta-heuristiques	18
II.4.1 Méthodes méta-heuristiques à population	19
II.4.2 Méthodes méta-heuristiques à solution unique (Parcours).....	19
II.5 L'algorithme d'optimisation MFO (Moth-flame Optimisation Algorithm).....	19
II.6 L'approche MFO adaptatif	27
II.7 Conclusion	29
CHAPITRE III : Résultat et interprétation	
III.1 Introduction	31
III.2 Application et Résultats	31
III.2.1 Système de test IEEE 30-bus.....	31
III.2.2 Méthode d'optimisation	33
III.2.3 Résultats d'application	33
III.2.4 Discussion des résultats	44
III.3 Conclusion.....	45
CONCLUSION GENERALE.....	46
References bibliographiques	49
Annexes.....	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'électricité est un élément énergétique indispensable dans notre vie quotidienne et dans tous les domaines, notamment industriel et agricole, et considérée comme un moyen indispensable de développement social et économique dans les pays développés. La forte croissance de la demande d'électricité au cours des dernières années nécessite un équilibre entre la production et la consommation, et celle-ci doit être consommée dès qu'elle est produite, car l'énergie électrique ne peut être stockée qu'en quantités limitées, et les installations de stockage sont peu développées et coûteuses.

Afin de parvenir à un équilibre entre la production et la consommation, les spécialistes du développement des réseaux de transport d'électricité sont toujours à la recherche des meilleurs méthodes et moyens de planifier et de gérer le transfert de l'énergie à partir des centrales électriques vers les zones de consommation.

Il est donc toujours nécessaire de faire varier les puissances actives et réactives des générateurs connectés au réseau dans leurs limites autorisées afin de répondre aux fluctuations de la charge électrique au coût de production le plus bas. C'est ce que l'on appelle l'écoulement de puissance optimal (EPO), parfois connu sous le nom de problème de dispatching économique de l'écoulement de puissance.

Dans notre travail, nous allons intéresser de la résolution du problème de l'écoulement de puissance optimal par les méthodes méta-heuristiques (MFO) et (AMFO) pour améliorer le comportement du réseau de transport pour les objectifs suivants :

- ✓ Minimisation du coût du combustible de production.
- ✓ Amélioration du profil de tension.
- ✓ Amélioration de la stabilité de la tension.
- ✓ Minimisation des pertes de transmission de puissance active.
- ✓ Minimisation des pertes de transmission de puissance réactive.

Ce projet de fin d'étude Master est divisé en trois chapitres.

- Le premier chapitre est consacré à donner une description généralités sur les réseaux électriques et écoulement de puissance du réseau.
- Le deuxième chapitre expose les méthodes d'optimisation méta-heuristique et ses classifications, ensuite nous allons présenter les méthodes d'optimisation méta-heuristiques proposée qui seront adaptées dans le réseau électrique de transport.

➤ Dans le troisième chapitre, on applique les méthodes proposées (MFO) et (AMFO) pour résoudre le problème d'écoulement de puissance optimal (EPO) du réseau test IEEE 30-nœuds avec cinq fonctions mono-objectif différentes :

- ✓ La réduction des coûts de carburant.
- ✓ L'amélioration de la stabilité de tension.
- ✓ La minimisation de l'écart de tension.
- ✓ La minimisation des pertes de puissance active.
- ✓ La minimisation des pertes de puissance réactive.

Les résultats obtenus avec les algorithmes (MFO) et (AMFO) sont également comparés à ceux d'autres méthodes déjà existantes comme (FPA) et (PSO).

➤ Pour conclure, le projet de fin d'études se clôture avec une synthèse des résultats et une perspective des travaux à venir

CHAPITRE I :

Généralités sur les réseaux électriques et écoulement de puissance optimal

CHAPITRE I : Généralités sur les réseaux électriques et écoulement de puissance optimal

I.1 INTRODUCTION :

Afin de déterminer l'état optimal du réseau électrique pour résoudre divers problèmes tels que ceux liés à l'économie, à l'environnement ou à la sécurité, il est essentiel de comprendre le fonctionnement optimal de chaque composante du réseau électrique.

Ce chapitre offre une perspective globale sur le réseau électrique, en abordant notamment le fonctionnement optimal du système énergétique ainsi que la résolution des problèmes liés à l'écoulement de puissance optimal

I.2 Définition et organisation de réseau électrique :

Un réseau électrique représente un système d'infrastructures conçu pour transporter l'énergie électrique produite par les centrales vers les consommateurs finaux. Il se compose de lignes électriques opérant à divers niveaux de tension et interconnectées via des postes électriques. Ces derniers permettent la redistribution et le réajustement de la tension grâce à l'utilisation de transformateurs. En plus de cette structure physique, un réseau électrique doit également gérer de manière dynamique la production, le transport et la consommation d'électricité afin de garantir la stabilité globale du système. Typiquement, un réseau électrique se divise en trois principales sections : la production d'électricité, le transport et la distribution. Parfois, dans certaines références, on distingue également une quatrième section dédiée à la consommation, qui vient s'ajouter après la distribution dans la structure globale du réseau électrique.

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centrales de production vers les consommateurs. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles avec des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir et de faire passer l'électricité d'une tension à une autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble.

La figure I-1 présente une représentation globale du réseau électrique algérien zone A, illustrant les diverses centrales de production, les postes de livraison à haute tension (HTB) et les lignes de transport.

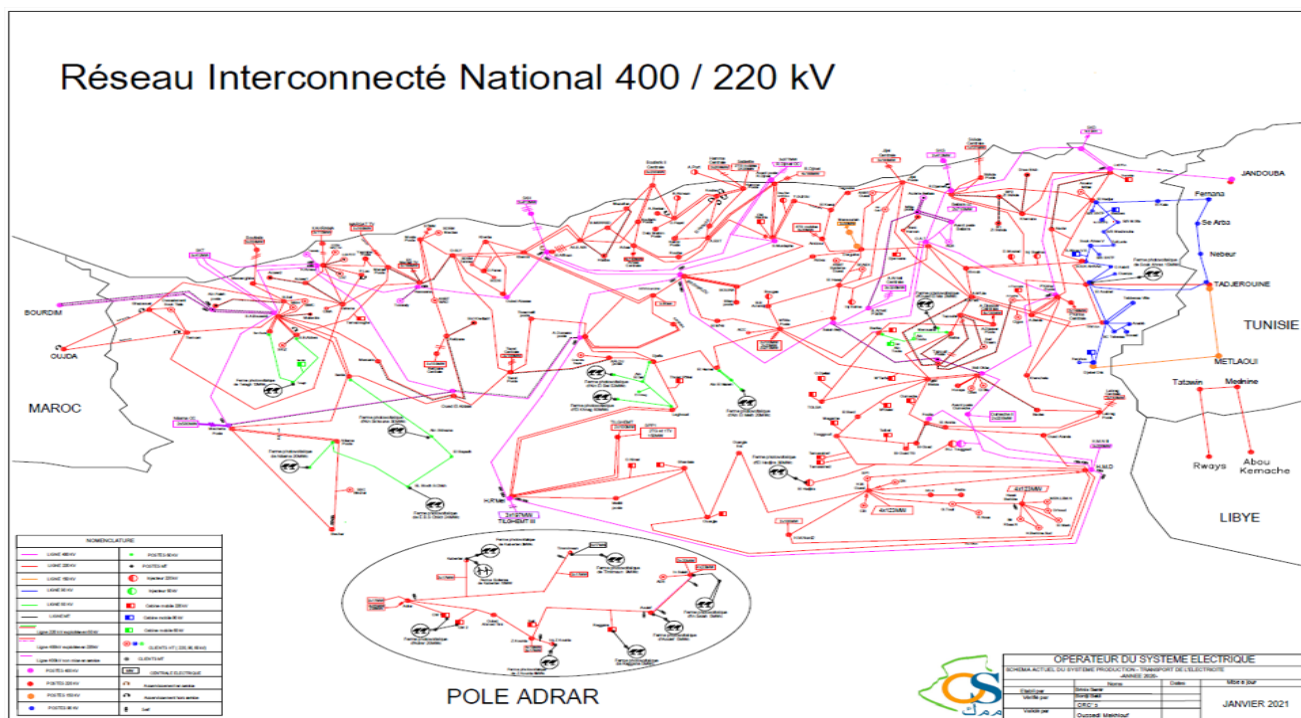


Figure I.1 : Réseau interconnectée national 400/220 kv année 2021 [1]

I.3 Classification des jeux de barre :

Chaque jeu de barres nécessite la spécification préalable de deux variables, les deux autres étant à calculer. Ainsi, les jeux de barres peuvent être classés comme suit ::

I.3.1 Jeu de barre de référence :

Ce jeu de barres, également connu sous le nom de jeu de barre balancier (slack bus), est chargé de fournir la puissance supplémentaire nécessaire pour compenser les pertes de transmission, car ces dernières ne sont pas connues à l'avance. De plus, ce jeu de barres sert de référence pour les phases de tension. Par convention, ce jeu de barres est identifié par le numéro de jeu de barres No=1, avec le module et la phase de tension toujours spécifiés à $V_1 = 1$ pu et $\delta_1 = 1$. Ainsi, les puissances P_i et Q_i restent inconnues, car P_{G1} et P_{G2} ne sont pas prédéfinies. Par conséquent, les équations d'équilibre de puissance pour le jeu de barres de référence ne sont pas explicitement incluses dans la formulation du problème de l'écoulement de puissance. Cependant, P_1 et Q_1 peuvent être calculées après avoir obtenu la solution du problème.

I.3.2 Jeu de barre à tension contrôlée :

Chaque jeu de barres du système, où le module de tension est maintenu constant, est considéré comme un jeu de barres à tension contrôlée ou un jeu de barres générateur. Ce type de jeu de barres peut inclure des générateurs, des batteries de condensateurs, des compensateurs statiques (SVC) ou des transformateurs avec prise réglable. Au niveau de ce jeu de barres, la tension et la phase sont des grandeurs spécifiées. Ainsi, la puissance active n'est pas connue à l'avance. Par conséquent, seule l'équation d'équilibre de puissance active est incluse dans la formulation du problème. La valeur correspondante de δ_i est calculée par l'algorithme de l'écoulement de puissance. Cependant, Q_i peut être calculée après avoir obtenu la solution du problème.

I.3.3 Jeu de barre de charge :

Chaque jeu de barres du système, pour lequel les injections de puissances actives et réactives sont données, est considéré comme un jeu de barres de charge. Ainsi, les deux équations d'équilibre de puissance pour chaque jeu de barres de charge sont explicitement prises en compte dans la formulation du problème. La procédure de l'écoulement de puissance fournit les valeurs de V_i et δ_i .

Il est à noter que pour un réseau comprenant N jeux de barres avec N_G jeux de barres à tension contrôlée (ou générateur), le problème de l'écoulement de puissance implique la résolution d'un système de $2N - N_G - 2$ équations. Le nombre de variables d'état V_i et δ_i est également de $2N - N_G - 2$. Dans ces conditions, le système d'équations est correctement posé. Cependant, cela ne garantit pas l'existence d'une solution en raison de la non-linéarité des équations. Ainsi, il peut exister une solution unique, plusieurs solutions ou aucune solution.

Tableau I.1 : Type de jeux de barre [2].

Type de nœuds	Variables connues	Variables inconnues
PQ	Les puissances active et réactive (P, Q)	Tension amplitude et angle de phase (V, δ)
PV	Puissance active et la tension (P, V)	Angle de phase de tension et puissance réactive (δ , Q)
Référence	Tension amplitude et angle de phase (V, δ)	Le courant, Les puissances actives et réactives (P, Q)

I.4 Écoulement de puissance :

L'analyse de l'écoulement de puissance, aussi appelée flux de puissance, constitue une étape cruciale dans l'étude et la conception des réseaux électriques. Cette analyse revêt une importance capitale dans divers domaines, notamment la planification des infrastructures électriques, la gestion des échanges de puissance entre les différentes centrales de production et le dispatching économique. De plus, elle est indispensable pour évaluer la stabilité transitoire et dynamique du système, ainsi que pour estimer l'état global du réseau et prendre des mesures appropriées en cas d'événements imprévus.

I.5 Classification des variables des équations de l'écoulement de puissance :

I.5.1 Variables de perturbation (Variables non contrôlées) :

Ce sont les puissances P_{D1} P_{D2} Q_{D1} Q_{D2} demandées par les charges.

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{D1} \\ P_{D2} \\ Q_{D1} \\ Q_{D2} \end{bmatrix} \quad (I.1)$$

I.5.2 Variables d'états :

Les variables du problème dépendent des variables de contrôle, qui comprennent principalement les modules des tensions des jeux de barres de charge, les puissances actives de référence (Slack-bus), ainsi que les rapports des transformateurs. De plus, elles incluent les phases des tensions pour tous les jeux de barres, à l'exception du jeu de barres de référence. Ainsi, l'état de fonctionnement d'un système électrique est entièrement déterminé par ces variables de contrôle en conjonction avec les variables d'état. [3].

$$X = \begin{bmatrix} P_1 \dots P_n \\ V_1 \dots V_n \\ T_1 \dots T_n \end{bmatrix} \quad (I.2)$$

I.5.3 Variables de contrôle :

Les variables du problème peuvent être ajustées pour optimiser la fonction objective et respecter les contraintes. Elles peuvent inclure :

- Les puissances actives générées, à l'exception de la référence (Slack-bus).
- Les puissances réactives générées par les alternateurs.
- Les modules de tension des jeux de barres.

- Les rapports des transformateurs.

Les puissances générées actives, notées PG, sont des variables de contrôle représentées par le vecteur de contrôle U.

$$U = \begin{bmatrix} P_2 & \dots & P_n \\ V_1 & \dots & V_n \\ T_1 & \dots & T_n \end{bmatrix} \quad (\text{I.3})$$

I.6 Écoulement de puissance optimale :

L'objectif d'un écoulement de puissance optimal est d'atteindre une valeur maximale ou minimale d'une fonction objective. Cette fonction peut avoir pour but [4] :

- Minimiser les coûts de production électrique.
- Minimiser les pertes en puissance active.
- Maximiser la puissance générée.

Tout en garantissant que le réseau fonctionne de manière sécuritaire, en respectant les contraintes suivantes :

- $V_{\min} < \text{tensions des générateurs} < V_{\max}$
- $S_{\min} < \text{Puissances transitées dans les lignes} < S_{\max}$

I.6.1 Domaine d'application de l'écoulement de puissance optimal :

Le domaine d'application de l'écoulement de puissance optimal comprend deux grandes catégories : les applications d'exploitation et celles de planification. Dans le domaine de l'exploitation, on distingue les applications économiques et techniques. Chaque catégorie comporte plusieurs applications, parmi lesquelles les plus courantes sont les suivantes :

a. Maximisation de la puissance transmissible :

Maximiser le transfert de puissance est un objectif important pour les systèmes interconnectés. Cela peut contribuer à réduire les coûts d'exploitation des systèmes électriques, en plus d'autres avantages tels que l'amélioration de la fiabilité. Cet objectif est mieux géré par un ajustement optimal des sources de puissance réactives.

Cependant, l'intégration des dispositifs à base de semi-conducteurs (FACTS) dans la procédure de l'Écoulement de Puissance Optimal (EPO) peut considérablement améliorer la capacité de transfert de puissance

b. Minimisation du cout de combustible :

Le point de départ de l'Écoulement de Puissance Optimal (EPO) est la minimisation des coûts d'exploitation des réseaux électriques. La réduction du coût de combustible est l'objectif principal de cette approche. L'objectif est de déterminer les puissances optimales à générer par les centrales électriques tout en minimisant le coût total du combustible [3] [5]

c. Minimisation des pertes :

La minimisation des pertes de transmission est également un objectif important, car elle permet de réduire les coûts. Cet objectif, combiné à la minimisation du coût de combustible, fait partie des objectifs les plus couramment utilisés dans le domaine de l'économie d'énergie. [3]

d. Amélioration du profil de tension :

En général, les tensions sont contraintes à se situer entre des valeurs supérieures et inférieures dans les contraintes d'inégalité. Cependant, d'autres formulations existent où l'objectif est de déterminer les paramètres de contrôle pour minimiser la somme des déviations de tension au niveau des générateurs. [6]

e. Amélioration de la stabilité de tension :

L'amélioration du profil de tension ne garantit pas nécessairement une sécurité optimale du système. En effet, des problèmes d'instabilité de tension ont été observés dans des systèmes présentant un profil de tension apparemment acceptable.

La sécurité de tension est assurée lorsque le système est capable de maintenir une tension acceptable à tous les jeux de barres, même dans des conditions de fonctionnement normales, lors d'une augmentation de charge, d'un changement de configuration, ou lorsqu'il est soumis à une perturbation. Cet objectif a été étudié dans de nombreux travaux de recherche, et a été formulé de différentes manières.[7]

I.6.2 Formulation mathématique de l'écoulement de puissance optimal :

La solution de l'Écoulement de Puissance Optimal (EPO) vise à déterminer l'état de fonctionnement optimal d'un réseau tout en respectant les contraintes imposées par les lois électriques et les limites techniques sur les variables de contrôle. Elle agit sur ces variables de contrôle disponibles pour optimiser un objectif tout en satisfaisant les équations d'écoulement de puissance du réseau. La fonction objective peut caractériser la réduction des pertes ou la maximisation de la puissance transmissible, selon le problème étudié. Les contraintes représentent les lois physiques régissant le comportement du système ainsi que les limites de conception des appareils et des stratégies de fonctionnement.

Ce type de problème est généralement exprimé sous la forme d'un problème d'optimisation statique non linéaire. La fonction objective est représentée par une équation non linéaire et les contraintes sont exprimées sous forme d'équations non linéaires ou linéaires. Le problème de l'EPO peut être formulé sous la forme des équations suivantes :

$$\min f(x, u) \quad (I.4)$$

$$g(x, u) = 0 \quad (I.5)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (I.6)$$

$$U_{min} \leq U \leq U_{max} \quad (I.7)$$

Avec :

• **u**: variables de contrôle

• **x**: variables d'état

f(x, u) : Représente la fonction objective (Généralement le coût de production)

g(x, u) = 0 : Traduit les contraintes d'égalités représentant les équations d'écoulement de puissance (Production = Consommation + pertes).

h(x, u) ≤ 0 Les contraintes d'inégalités fonctionnelles sont spécifiquement liées aux capacités de transmission des lignes, c'est-à-dire les puissances que les lignes peuvent supporter.

U_{min} ≤ U ≤ U_{max} : représente les limites admissibles des variables de décision (puissances générées ou tensions qui varient entre 0.95 et 1.05 PU).

I.6.3. Formulation d'EPO pour minimisation du coût de production :

I.6.3.1. Fonction objective du coût :

L'objectif très courant de l' EPO, à savoir la réduction du coût des combustibles pour la production, est pris en compte dans le cas 1. Par conséquent, la fonction objective Y indique le coût total des combustibles pour l'ensemble des unités de production est calculée à l'aide de l'équation suivante [8] :

$$Y = \sum_{i=1}^{NGen} f_i (\$/h) \quad (I.8)$$

Où f_i est le coût total du combustible du $i^{ème}$ générateur, f_i peut être formulé comme suit :

$$f_i = u_i + v_i P_{Gi} + w_i P_{Gi}^2 (\$/h) \quad (I.9)$$

Où u_i, v_i et w_i sont les coefficients de coût simple, linéaire et quadratique du $i^{ème}$ générateur, respectivement [9].

I.6.3.2. Formulation d'EPO pour améliorer du profil de tension :

La tension des bus est considérée comme l'indice de sécurité et d'excellence du service le plus essentiel et le plus important. Ici, l'objectif est de réduire le coût du carburant et d'augmenter le profil de tension simultanément en réduisant l'écart de tension des bus PQ (*charge*) buses par rapport à l'unité de 1,0 p.u.

La fonction objective peut donc être formulée par l'équation suivante :

$$Y = Y_{voltage-deviation} \quad (I.10)$$

Où

$Y_{voltage-deviation}$ Sont spécifiés comme suit [7] :

$$Y_{voltage-deviation} = \sum_{i=1}^{NGen} |V_i - 1.0| \quad (I.11)$$

V_i : la tension de $i^{ème}$ génération ;

I.6.3.3. Formulation d'EPO pour l'amélioration de la stabilité de tension :

Actuellement, les systèmes de transmission sont contraints de fonctionner à proximité de leurs limites de sécurité, pour des raisons économiques et environnementales. L'une des principales caractéristiques du système est sa capacité à maintenir en permanence des tensions de bus tolérantes à chaque nœud dans des environnements opérationnels standard, en dépit de l'augmentation de la charge, dès que le système est affecté par une perturbation. Les variables

de contrôle non optimisées peuvent provoquer une chute de tension croissante et ingérable, entraînant un effondrement considérable de la tension. C'est pourquoi la stabilité de la tension fait l'objet d'une attention croissante. En utilisant diverses techniques pour évaluer la marge de stabilité de la tension, Glavitch et Kessel ont introduit un indice de stabilité de la tension appelé indice L , qui dépend de la viabilité des équations de flux de charge pour chaque nœud. L'indice L d'un bus indique la probabilité d'effondrement de la tension pour ce bus particulier. Il diffère entre 0 et 1, ce qui équivaut respectivement à une charge nulle et à un effondrement de la tension.

Pour le système donné avec les bus NB , N_{Gen} et NLB signifiant le nombre total de bus, le nombre total de bus de générateur et le nombre total de bus de charge, respectivement. On peut distinguer les bus PV (*générateur*) en queue et les bus PQ (*charge*) buses en tête comme suit :

$$\begin{bmatrix} I_L \\ I_G \end{bmatrix} = [Y_{bus}] \begin{bmatrix} V_L \\ V_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{LL} & Y_{LG} \\ Y_{GL} & Y_{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_G \end{bmatrix} \quad (I.12)$$

Où Y_{LL} , Y_{LG} , Y_{GL} et Y_{GG} sont des co-matrices de Y_{BUS} . Le système d'équations hybrides suivant peut être exprimé comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_L \\ I_G \end{bmatrix} = [H] \begin{bmatrix} I_L \\ V_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{LL} & H_{LG} \\ H_{GL} & H_{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_G \end{bmatrix} \quad (I.13)$$

Où la matrice H est produite par l'inversion partielle de Y_{bus} , H_{LL} , H_{LG} , H_{GL} et H_{GG} sont les co-matrices de H , V_G , I_G , V_L et I_L sont les vecteurs de tension et de courant des bus de générateur et des bus de charge, respectivement.

La matrice H est donnée par :

$$[H] = \begin{bmatrix} Z_{LL} & -Z_{LL}Y_{LG} \\ Y_{GL}Z_{LL} & -Y_{GL}Z_{LL}Y_{LG} \end{bmatrix} Z_{LL} = Y_{LL}^{-1} \quad (I.14)$$

Par conséquent, L -indice désigné par L_j du bus j est représenté comme suit :

$$L_j = \left| 1 - \sum_{i=0}^n H_{LGji} \frac{v_i}{v_j} \right| \quad j=1,2,\dots,NL \quad (I.15)$$

Par conséquent, la stabilité de l'ensemble du système est décrite par un indicateur global L_{max} qui est donné par [7]

$$L_{max} = \max(L_j) \quad j = 1,2,\dots,NL \quad (I.16)$$

La fonction objective peut donc être exprimée comme suit :

$$Y = Y_{voltage-stability-enhancement} \quad (I.17)$$

Où

$$Y_{voltage-stability-enhancement} = L_{max} \quad (I.18)$$

I.6.3.4 Formulation d'EPO pour minimisation des pertes de transmission de puissance active :

L'objectif du flux optimal de puissance est de réduire les pertes de transmission de puissance active, ce qui peut être représenté par l'équation d'équilibre de puissance suivante [7] :

$$J = \sum_{i=1}^{NGen} P_i = \sum_{i=1}^{NGen} P_{Gi} - \sum_{i=1}^{NGen} P_{Di} \quad (I.19)$$

I.6.3.5 Formulation d'EPO pour minimisation des pertes de transmission de puissance réactive :

L'accessibilité de la puissance réactive est le point principal pour la marge de stabilité de tension du système statique afin de soutenir la transmission de la puissance active de la source vers les charges. Ainsi, la minimisation des pertes de VAR est donnée par l'expression suivante :

$$J = \sum_{i=1}^{NGen} Q_i = \sum_{i=1}^{NGen} Q_{Gi} - \sum_{i=1}^{NGen} Q_{Di} \quad (I.20)$$

I.7 Conclusion :

Effectivement, ce chapitre met en lumière le processus complexe qui sous-tend la fourniture d'électricité depuis la prise de courant. Il révèle que derrière cette prise se trouve un réseau électrique sophistiqué impliquant la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique.

A la fin de ce chapitre, on peut résumer que l'écoulement de puissance optimale est basé essentiellement sur les méthodes mathématiques numériques itératives

Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur une description détaillée des méthodes, en examinant en

CHAPITRE II :

Méthodes d'optimisation méta-heuristique

II.1 Introduction :

Dans le domaine du transport de l'énergie électrique, on cherche toujours de nouvelles façons pour trouver des techniques de solutions optimales pour résoudre les problèmes de transmission de l'énergie dans le réseau électrique. Les méthodes traditionnelles semblent répondre à ce besoin, mais la question des optimaux locaux est un véritable problème lorsqu'il s'agit d'optimisation globale. D'où l'utilisation de méthodes stochastiques connues sous le nom de méthodes méta-heuristiques, qui évitent ce problème en général et sont tout à fait capables de trouver l'optimum global. L'une de ces techniques, inspirée par la nature, est le nouvel algorithme Moth-Flame Optimisation (MFO) et Adaptatif Moth-Flame Optimisation que l'on va présenter en détail dans ce chapitre.

II.2 Définition de l'optimisation :

Un problème d'optimisation consiste à rechercher le minimum ou le maximum (l'optimum) d'une fonction donnée. Dans certains cas, les variables de la fonction à optimiser sont contraintes à évoluer dans une certaine partie de l'espace de recherche, ce qui conduit à ce que l'on appelle un problème d'optimisation sous contraintes. Ainsi, optimiser revient à minimiser ou maximiser une fonction tout en respectant certaines conditions préalables. Cette fonction, appelée "objectif", peut représenter un coût à minimiser, un profit à maximiser, ou une production à optimiser. Les fonctions objectives et les contraintes varient en fonction du problème à optimiser. Dans l'analyse des réseaux électriques, plusieurs fonctions peuvent être optimisées (coût de production, émissions de gaz toxiques, pertes de transmission, etc.) en prenant en compte les contraintes d'égalité et d'inégalité pour obtenir des solutions optimales acceptables. [10] [11]. La formulation de n'importe quel problème d'optimisation peut être considérée comme une séquence d'étapes comme suit :

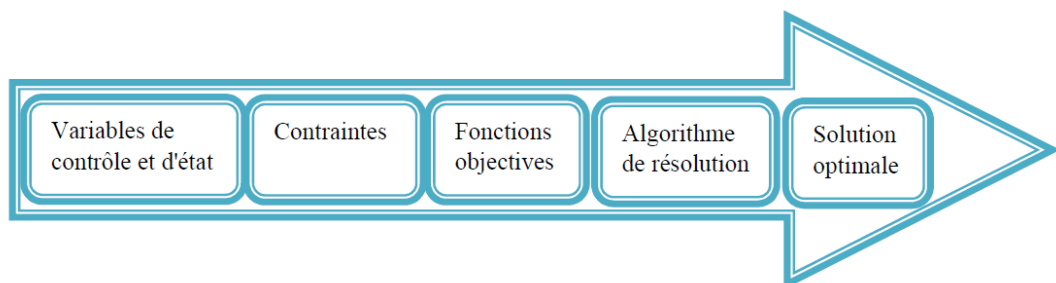


Figure II.1 Les étapes de résolution d'un problème d'optimisation [12].

Les méthodes d'optimisation algorithmiques ont été largement utilisées pendant de nombreuses années dans la planification, l'exploitation et le contrôle des réseaux électriques, en raison de la

complexité des solutions pour les réseaux électriques à grande échelle. Dans l'Écoulement de Puissance Optimal (EPO), il n'y a pas d'algorithme unique qui soit optimal pour résoudre tous les problèmes. Par conséquent, de nouveaux algorithmes continuent d'émerger, chacun capable de résoudre efficacement certaines configurations du problème de l'Écoulement de Puissance Optimal (OPF) [13] [14].

Plusieurs méthodes de résolution ont été proposées, présentant une grande diversité dans leurs principes, leurs stratégies et leurs performances. Elles peuvent être classées en deux grands groupes selon leur approche pour rechercher l'optimum : les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques. De plus, il existe des méthodes hybrides qui résultent de la combinaison de différentes approches, formant ainsi une classe pseudo-hybride. Cette classification est illustrée dans la figure (II.2).

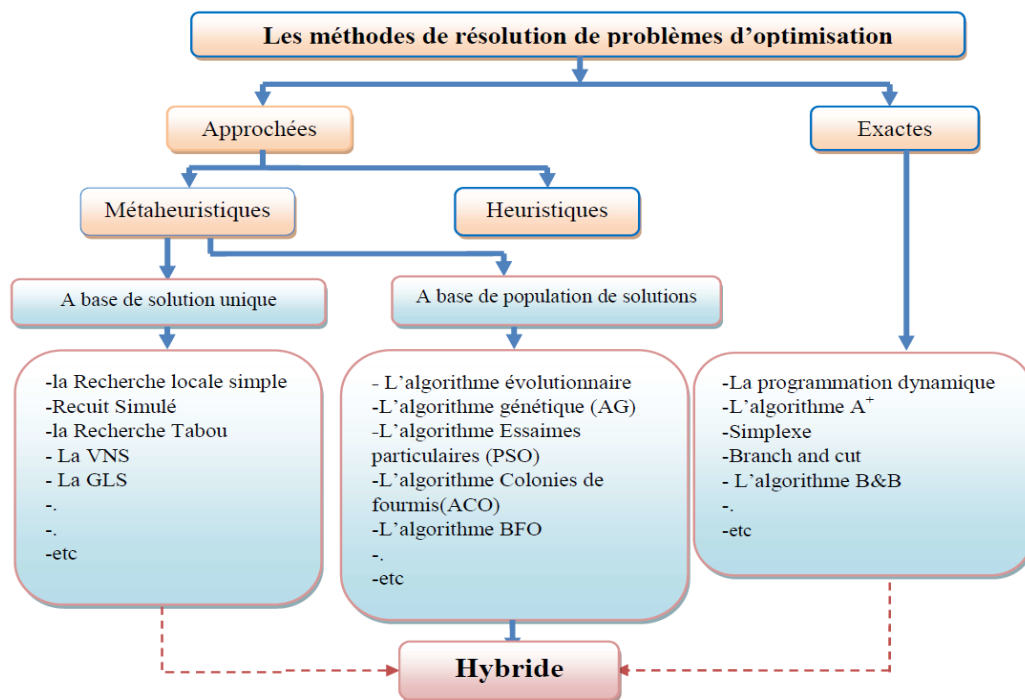


Figure II.2 Classification des méthodes d'optimisation [15].

II.3 Les Méthodes Méta-heuristiques :

Les algorithmes méta-heuristiques, souvent inspirés par des phénomènes naturels, sont aujourd'hui parmi les techniques d'optimisation stochastiques les plus populaires pour résoudre des problèmes d'optimisation difficiles. Leur utilisation réussie dans une variété d'applications est attribuée à leur simplicité et leur robustesse.

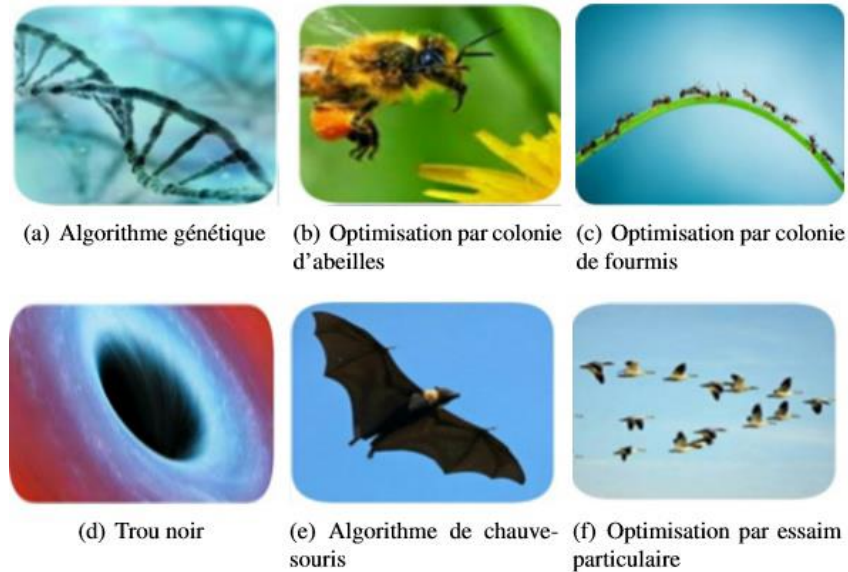


Figure II.3 Quelques sources d'inspiration des techniques méta-heuristiques.

Les méta-heuristiques constituent une famille d'algorithmes d'optimisation, également appelés algorithmes d'approximation, conçus pour résoudre des problèmes d'optimisation difficiles issus de la recherche opérationnelle, pour lesquels aucune méthode classique efficace n'est connue. Elles offrent une solution aux problèmes d'optimisation couramment rencontrés par les ingénieurs et les décideurs. Les méta-heuristiques sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui cherchent à converger vers un optimum en échantillonnant une fonction objectif.

Le processus d'exécution des méta-heuristiques se déroule en trois phases :

1. **Diversification** : Cette phase vise à explorer de manière exhaustive l'espace des solutions et à identifier les zones prometteuses.
2. **Intensification** : Après avoir identifié les zones prometteuses, cette phase approfondit la recherche dans chacune d'elles pour raffiner la solution.
3. **Mémoire** : Cette phase implique l'apprentissage et la mémorisation des résultats passés pour guider l'optimisation vers les itérations suivantes.

Les méta-heuristiques progressent de manière itérative en alternant entre ces phases, en commençant souvent par une phase de diversification aléatoire. L'algorithme continue à itérer jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit atteint, souvent lorsque la fonction objectif converge vers un optimum.

Effectivement, les méta-heuristiques tirent souvent leur inspiration de systèmes naturels, qu'il s'agisse de phénomènes physiques comme le recuit simulé, de principes de biologie de l'évolution comme les algorithmes génétiques, ou encore de comportements observés en éthologie, tels que les algorithmes de colonies de fourmis ou d'optimisation par essais particuliers. Cette inspiration naturelle permet aux méta-heuristiques de capturer des mécanismes de recherche et d'optimisation efficaces et de les appliquer à un large éventail de problèmes d'optimisation [16].

II.4 Classification des Méthodes Méta-heuristiques :

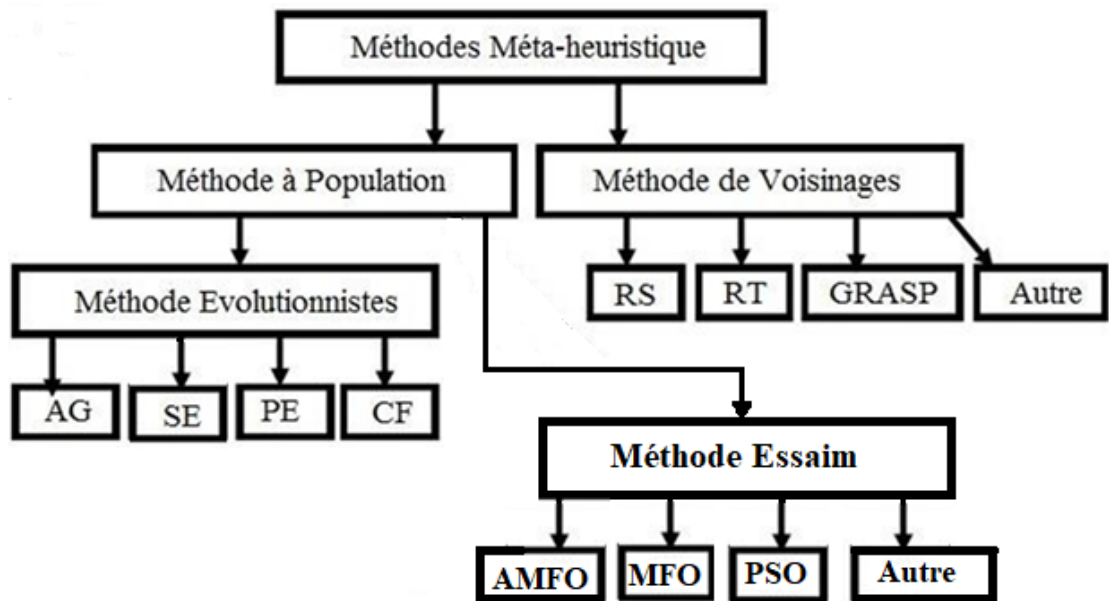


Figure II.4 : Classification des Méthodes Méta-heuristiques

Où :

CF : Colonie de Fourmies

AG : Algorithmes Génétique

SE : Stratégies d'Evolution

PE : Programmation Evolutionnaire

RS : Recuit Simulé

RT : Recherche Taboue

GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

AMFO: Adaptatif Moth-flame Optimisation Algorithm

MFO: L'algorithme d'optimisation Moth-flame.

PSO: Optimisation par essais de particules

II.4.1 Méthodes Méta-heuristiques à Population :

Ces méthodes exigent généralement une population d'individus ou de particules dans un domaine de recherche pour l'exploration et la recherche d'un optimum global. Parmi ces méthodes, on trouve :

- Les méthodes de calcul évolutionnaire, qui incluent les algorithmes génétiques (GA), les stratégies d'évolution (SE), la programmation évolutionnaire (PE) et l'évolution différentielle (DE).
- L'optimisation par essaim particulaire (OEP ou PSO).

II.4.2 Méthodes Méta-heuristiques à solution unique (Parcours) :

Dans ce type de méta-heuristiques, on utilise un parcours pour atteindre un optimum. À partir d'une solution unique x_0 , considérée comme point de départ (calculée par exemple par une heuristique constructive), la recherche consiste à passer d'une solution à une solution voisine par des déplacements successifs. L'ensemble des solutions que l'on peut atteindre à partir d'une solution x est appelé voisinage $N(x)$ de cette solution. Déterminer une solution voisine de x dépend bien entendu du problème traité. Ce type comprend, par exemple, le recuit simulé (RS), la recherche taboue (RT), et la méthode GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) [17].

II.5 L'algorithme d'optimisation MFO (Moth-flame Optimisation Algorithm) :

L'algorithme d'optimisation méta-heuristique, appelé Moth-flame Optimization Algorithm (MFO), est une nouvelle proposition visant à rivaliser avec les algorithmes d'optimisation existants. Son inspiration principale provient du mécanisme de navigation des papillons de nuit dans la nature, connu sous le nom d'orientation transversale. Dans ce mécanisme, les papillons volent à un angle constant par rapport à une source de lumière lointaine, comme illustré dans la figure (II.3). [18].

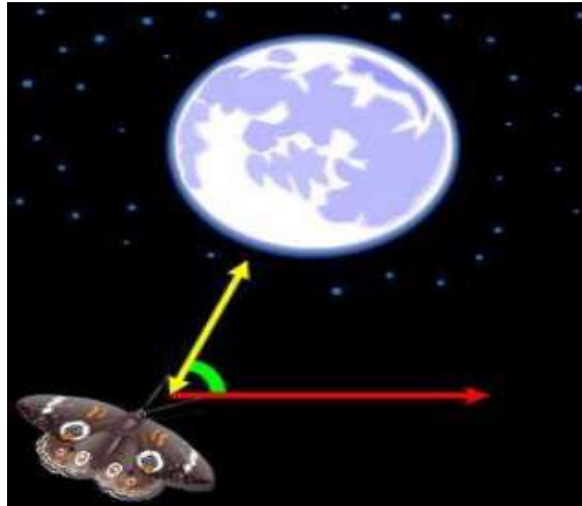


Figure II.5 : Orientation Transversale.

Cependant, lorsque la source lumineuse est extrêmement proche (les flammes), nous observons que les papillons volent en spirale autour d'elle dans l'espace de recherche, et les flammes représentent la meilleure position des papillons obtenue, comme illustré dans la figure (II.6). Les papillons et les flammes sont tous deux considérés comme des solutions, bien qu'ils diffèrent dans leur analyse et leur mise à jour.

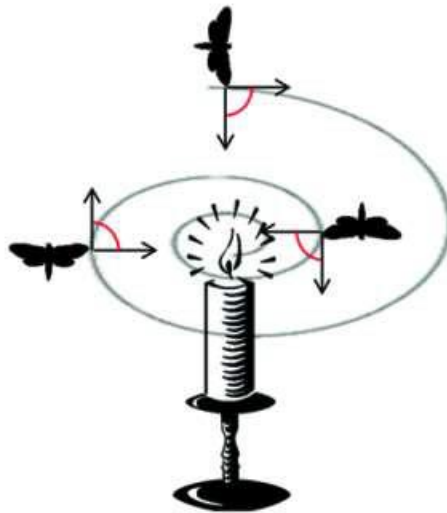


Figure II.6 : Vol en spirale du papillon autour de sources de lumière proches.

Dans l'algorithme MFO, l'ensemble des papillons est représenté dans la matrice M . Pour chaque papillon, il existe un vecteur OM qui stocke les valeurs de fitness correspondantes. [18] [19].

$$M = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & \dots & m_{1,d} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & \dots & m_{2,d} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ m_{n,1} & m_{n,2} & \dots & m_{n,d} \end{bmatrix} \quad (\text{II. 1})$$

$$OM = \begin{bmatrix} OM1 \\ OM2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ OMn \end{bmatrix} \quad (\text{II. 2})$$

Les deuxième composants clés de l'algorithme sont les flammes. Une matrice F, similaire à la matrice des papillons, est considérée. Pour les flammes, il est également supposé qu'il existe un vecteur OF pour stocker les valeurs de fitness correspondantes.

[18] [19].

$$F = \begin{bmatrix} F_{1,1} & F_{1,2} & \dots & F_{1,d} \\ F_{2,1} & F_{2,2} & \dots & F_{2,d} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ F_{n,1} & F_{n,2} & \dots & F_{n,d} \end{bmatrix} \quad (\text{II. 3})$$

$$OF = \begin{bmatrix} OF1 \\ OF2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ OFn \end{bmatrix} \quad (\text{II. 4})$$

L'algorithme MFO comporte trois étapes qui se rapprochent de l'optimum global de la manière suivante :

$$MFO = (I, P, T) \quad (\text{II. 5})$$

I est une fonction qui génère une population aléatoire de papillons et sa valeur de fitness correspondante :

$$I : \emptyset = \{M, OM\} \quad (\text{II. 6})$$

La fonction P, qui est la fonction principale, déplace les papillons autour de l'espace de la recherche.

Cette fonction a reçu la matrice M et retourne sa mise à jour éventuellement.

$$P : M \rightarrow M \quad (\text{II. 7})$$

La fonction T return « true » si le critère d'arrêt est satisfait et « false » si le critère d'arrêt n'est pas satisfait :

$$T : M \rightarrow \{true, false\} \quad (\text{II.8})$$

Pour simuler mathématiquement le comportement des papillons, la position de chaque papillon est mise à jour par rapport à une flamme en utilisant l'équation suivante :

$$M_i = S(M_i, F_j) \quad (\text{II. 9})$$

Où M_i indique le i ème papillon, F_j indique la j ème flamme, et S est la fonction spirale.

Toute fonction spiralee peut être utilisée ici sous réserve des conditions suivantes :

- Le point de départ de la spirale devrait commencer à partir du papillon.
- Le dernier point de la spirale devrait être la position de la flamme.
- La fluctuation de la gamme de la spirale ne doit pas dépasser l'espace de recherche.

En tenant compte de ces points, une spirale logarithmique est définie pour l'algorithme MFO comme suit :

$$S(M_i, F_j) = D_i \cdot e^{bt} \cdot \cos(2\pi t) + F_j \quad (\text{II. 10})$$

Où D_i indique la distance du $i^{ème}$ papillon pour la $j^{ème}$ flamme, b est une constante pour déterminer la forme de la spirale logarithmique, et t est un nombre aléatoire dans $[-1, 1]$.

Le mouvement en spirale constitue l'élément central de cette méthode, car il régit la façon dont les papillons mettent à jour leurs positions. L'équation de la spirale montre clairement que les papillons volent autour d'une flamme plutôt que de se déplacer directement entre elles. Par conséquent, cette approche assure à la fois l'exploration et l'exploitation de l'espace de recherche. La spirale logarithmique, l'espace autour de la flamme, ainsi que la position en fonction de différentes valeurs de 't', sont illustrés dans la figure II.5.

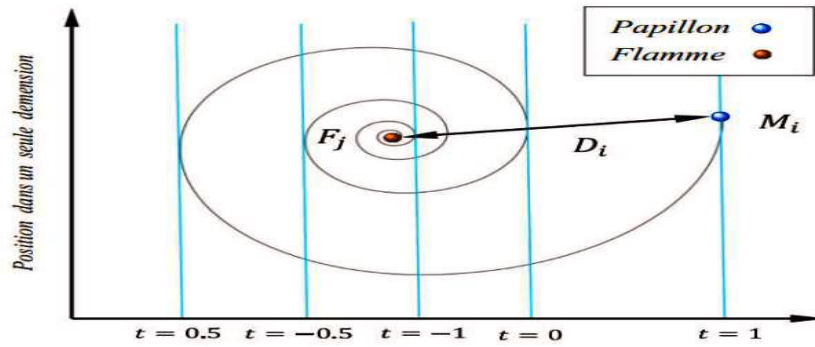


Figure II.7 : Logarithmique spirale, autour d'une flamme en fonction de t.

Le paramètre « t » définit dans quelle mesure la position suivante du papillon doit être proche de la flamme (t = -1 est la position la plus proche par rapport à la flamme, tandis que t = 1 est la plus éloignée).

D est calculé comme suit :

$$D_i = |F_i - M_i| \quad (\text{II. 11})$$

Où D_i est la distance du $i^{\text{ème}}$ papillon pour la $j^{\text{ème}}$ flamme.

À chaque itération et après la mise à jour de la liste des flammes, celles-ci sont triées en fonction de leurs valeurs de fitness. Ensuite, les papillons ajustent leurs positions par rapport aux flammes correspondantes : le premier par rapport à la meilleure flamme, tandis que le dernier par rapport à la pire flamme de la liste.

La figure (II.6) illustre comment chaque papillon est attribué à une flamme dans la liste des flammes.

L'équation (II.10) dite que la mise à jour de la position nécessite seulement que

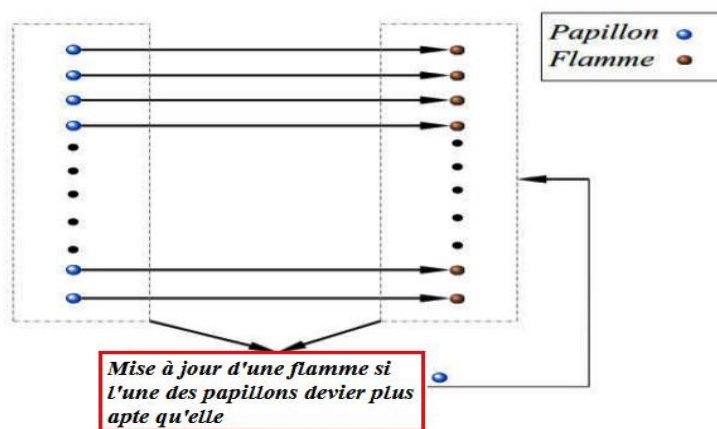


Figure II.8 : Chaque papillon est assigné à une flamme.

CHAPITRE II : Méthodes d'optimisation méta-heuristique

Les papillons se dirigent vers une flamme, mais cela peut entraîner que l'algorithme MFO soit rapidement piégé dans des optima locaux. Pour éviter cela, chaque papillon est contraint de mettre à jour sa position en utilisant uniquement l'une des flammes de l'équation (II.11).

Une autre préoccupation survient lorsque des emplacements différents dans l'espace de recherche peuvent compromettre l'exploitation des meilleures solutions prometteuses. Pour résoudre ce problème, un mécanisme adaptatif est utilisé pour fournir le nombre de flammes. La formule suivante est utilisée à cet égard :

$$\textit{flamme no} = \textit{round} \left(N - I \times \frac{N-1}{T} \right) \quad (\text{II. 12})$$

Où I est le nombre actuel d'itérations, N est le nombre maximum de flammes, et T indique le nombre maximum d'itérations. La diminution progressive du nombre de flammes équilibre l'exploration et l'exploitation de l'espace de recherche. La mise en œuvre de l'algorithme d'optimisation MFO dans l'identification des emplacements critiques peut être résumée par l'organigramme présenté dans la figure (II.7).

1. Étape 1 : Lire les données du réseau électrique (données des jeux de barres, des lignes et des générateurs).
2. Étape 2 : Définir les valeurs des paramètres MFO tels que :
 - Le nombre de Moths
 - Le nombre maximum d'itérations
 - Le nombre de variables
 - Les bornes supérieure et inférieure des variables (les puissances actives des générateurs et l'emplacement de la source de puissance réactive). Les emplacements candidats se trouvent dans la plage [1, Nlb], où Nlb est le nombre de jeux de barres de charge dans le réseau électrique.
3. Étape 3 : Initialiser la position des Moths et le nombre de flammes.
4. Étape 4 : Mettre à jour le nombre de flammes.
5. Étape 5 : Entrer les positions des Moths dans le programme de l'écoulement de puissance et calculer la valeur de fitness de chaque Moth.
6. Étape 6 : La population de Moths ayant les valeurs de fitness optimales sera sélectionnée comme flamme.
7. Étape 7 : Mettre à jour la position du Moth par rapport à la flamme correspondante.
8. Étape 8 : Obtenir la meilleure valeur de Moths et de fitness.

CHAPITRE II : Méthodes d'optimisation méta-heuristique

9. Étape 9 : Si le critère d'arrêt est atteint, passer à l'étape 10. Sinon, répéter les étapes de 4 à 9.
10. Étape 10 : Le meilleur Moth, y compris la meilleure valeur de fitness, a été sélectionné, permettant d'obtenir la meilleure position de la Moth [20].

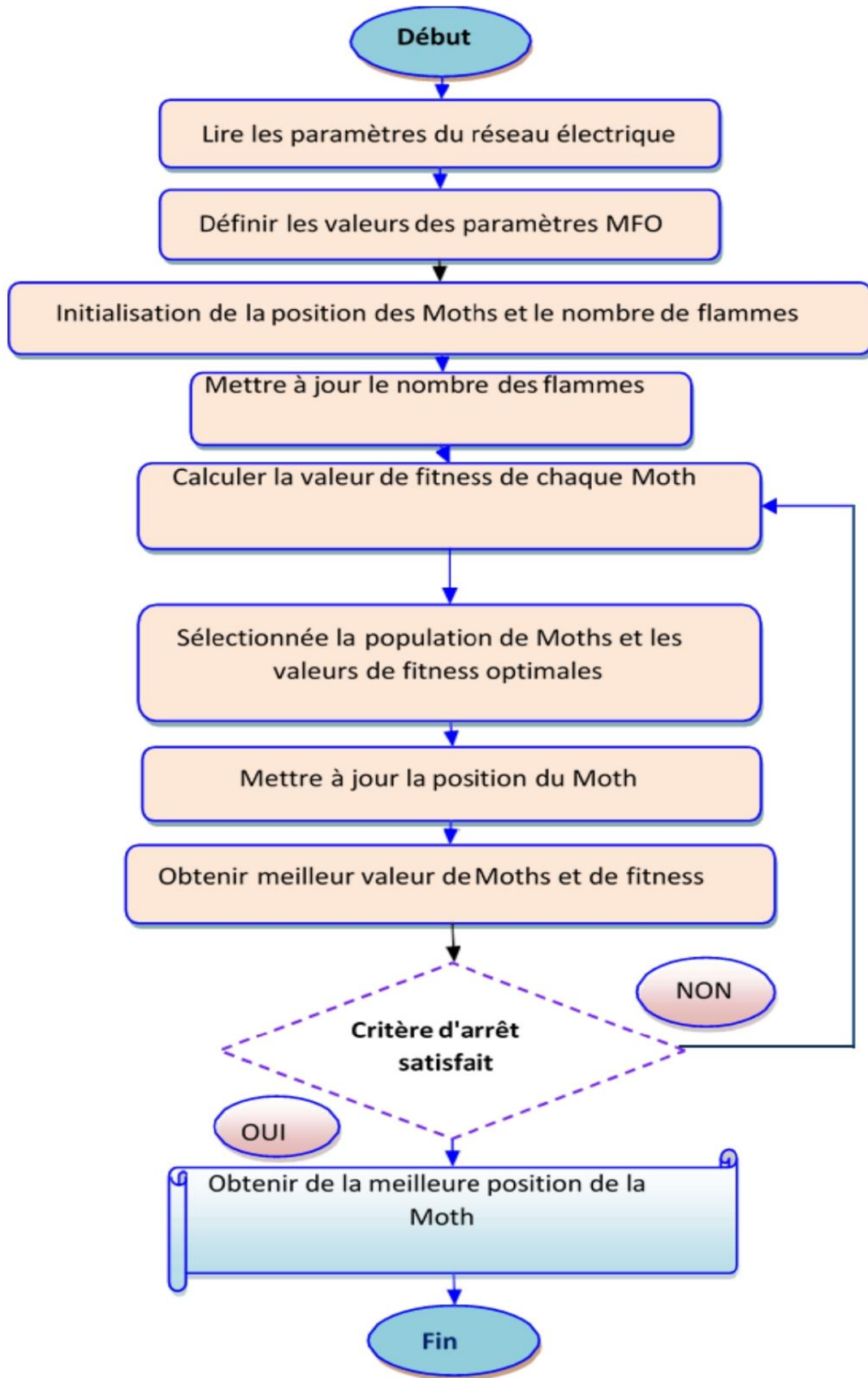


Figure II.9 : Organigramme de l'optimisation optimal par MFO [19].

II.6 L'approche MFO adaptatif :

Pour améliorer le taux de convergence tout en maintenant les caractéristiques remarquables du MFO, une procédure de recherche améliorée est présentée.

Figure II.8 montre un organigramme de l'approche MFO adaptatif. L'algorithme MFO standard met à jour la position du papillon de nuit en fonction de la distance du papillon de nuit par rapport à la flamme. Ici, nous essayons d'inclure la taille de pas en fonction de la meilleure et de la pire position de papillon de nuit ainsi que de la position actuelle du papillon de nuit. La taille de pas détermine à quelle distance une nouvelle position de papillon de nuit est située par rapport à la position actuelle. Comme présenté dans l'équation (II. 13), la taille de pas varie inversement avec la génération, c'est-à-dire que lorsque l'itération augmente, la taille de pas diminue. Comme le montre l'équation (II.14), la taille de pas calculée est ajoutée à la position actuelle du papillon de nuit pour obtenir une nouvelle position de papillon de nuit.

$$X_i^{t+1} = \left(\frac{1}{t}\right) \left| \frac{bestf(t) - fi(t)}{bestf(t) - worstf(t)} \right| \quad (II. 13)$$

$$Moth_pos(t + 1) = Moth_pos(t) + p \times X_i^{t+1} \quad (II. 14)$$

Dans l'équation (II.14), est un nombre aléatoire compris entre introduisant un composant arbitraire dans l'équation de mise à jour de la position.

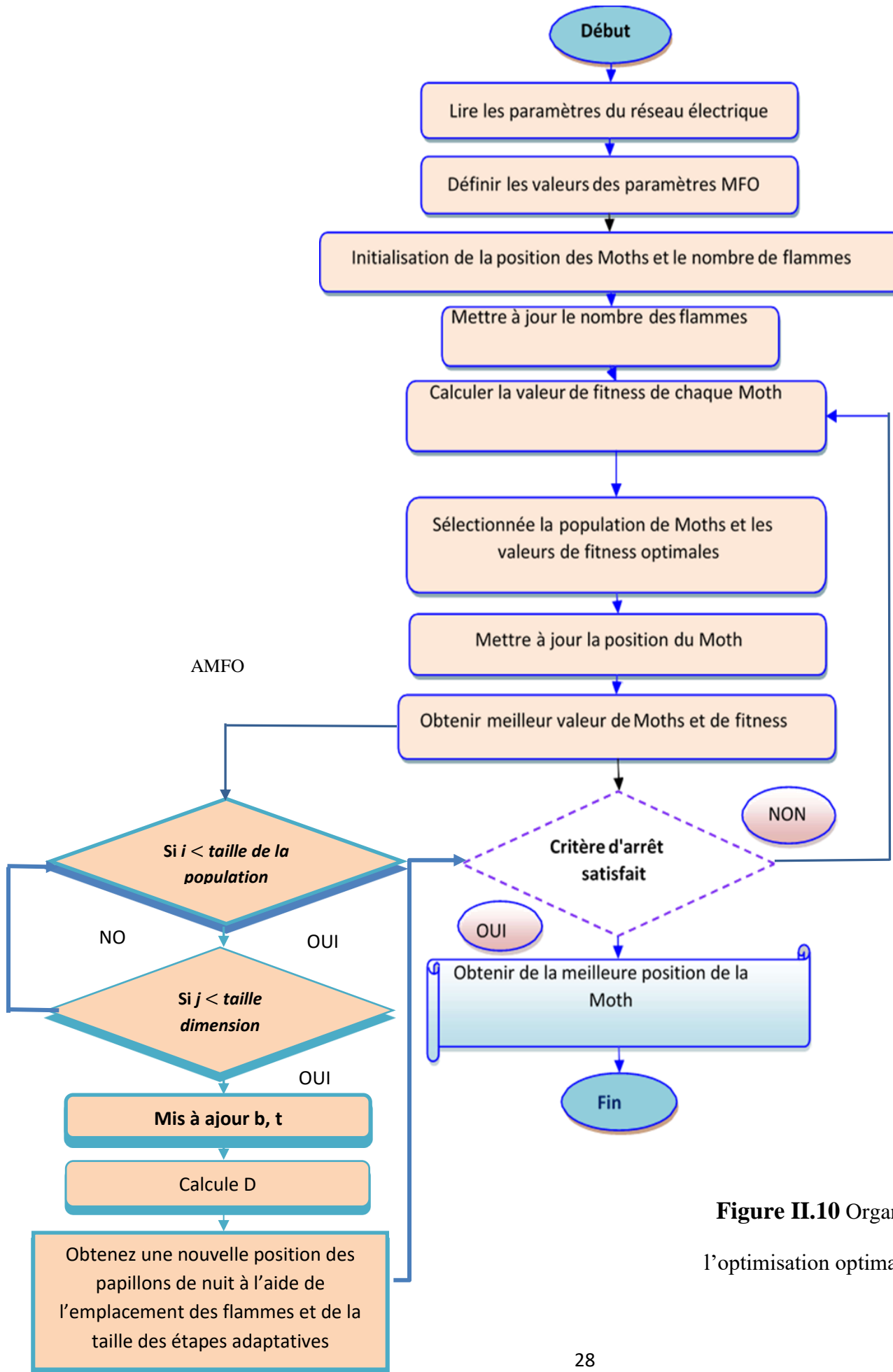


Figure II.10 Organigramme de l'optimisation optimal par AMFO

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé les fondamentaux du problème d'optimisation ainsi qu'un aperçu des différentes méthodes d'optimisation et de leur classification, en nous concentrant sur les méthodes les plus appropriées (méta-optimisation). Enfin, nous avons expliqué L'algorithme d'optimisation MFO (Moth-flame Optimisation Algorithm) et l'approche MFO adaptatif, avec leurs principes de base et leurs formules mathématiques, ont été présentés dans ce chapitre. Le chapitre suivant représente la partie pratique de notre travail, dans laquelle nous appliquerons les méthodes d'optimisation MFO et AMFO pour résoudre les problèmes de l'écoulement de puissance dans le réseau d'essai IEEE-30 bus.

CHAPITRE III :

Résultat et interprétation

III.1 Introduction :

Après présentation de nos méthodes méta-heuristique à travers le chapitre précédent, nous devons de faire une application pratique à partir de Matlab, Dans ce chapitre, nous exposerons les résultats obtenus ainsi que les discussions concernant l'écoulement de puissance optimal. (EPO) avec cinq cas objectifs qui doivent être optimisés en utilisant l'algorithme d'optimisation Moth-Flame (MFO) et L'algorithme d'optimisation Moth-Flame Adaptatif (AMFO), la réduction des coûts de carburant, l'amélioration de la stabilité de tension, la minimisation de l'écart de tension, la minimisation des pertes de puissance active et la minimisation des pertes de puissance réactive.

Par la suite, Nous comparerons les résultats obtenus avec les techniques proposées à ceux obtenus avec différentes techniques d'optimisation. Les algorithmes proposés ont été développés sous l'environnement Matlab et validé sur le réseau test IEEE 30-Bus. Les données du réseau test sont présentées dans l'annexe.

III.2 Application et Résultats :

III.2.1 Système de test IEEE 30-bus :

Le IEEE 30 bus test représente une partie du réseau électrique américain (dans le Midwest des États- Unis) en décembre 1961 (Figure III.1).

Dans le but d'élucider la force du technique MFO et AMFO suggérées, elle a été vérifiée sur le système d'essai standard IEEE à 30 bus. Le système d'essai IEEE standard à 30 bus sélectionné dans ce travail présente les caractéristiques suivantes : six groupes électrogènes aux bus 1, 2, 5, 8, 11 et 13, quatre transformateurs de régulation ayant rapport de prise non nominal entre les bus 4-12, 6-9, 6-10 et 28-27 et neuf compensateurs VAR shunt aux bus 10, 12, 15, 17, 20, 21, 23, 24 et 29.

En outre, les données relatives au coefficient de coût du générateur, les données relatives à la ligne, les données relatives au bus et les limites supérieures et inférieures des variables de contrôle sont spécifiées dans l'annexe.

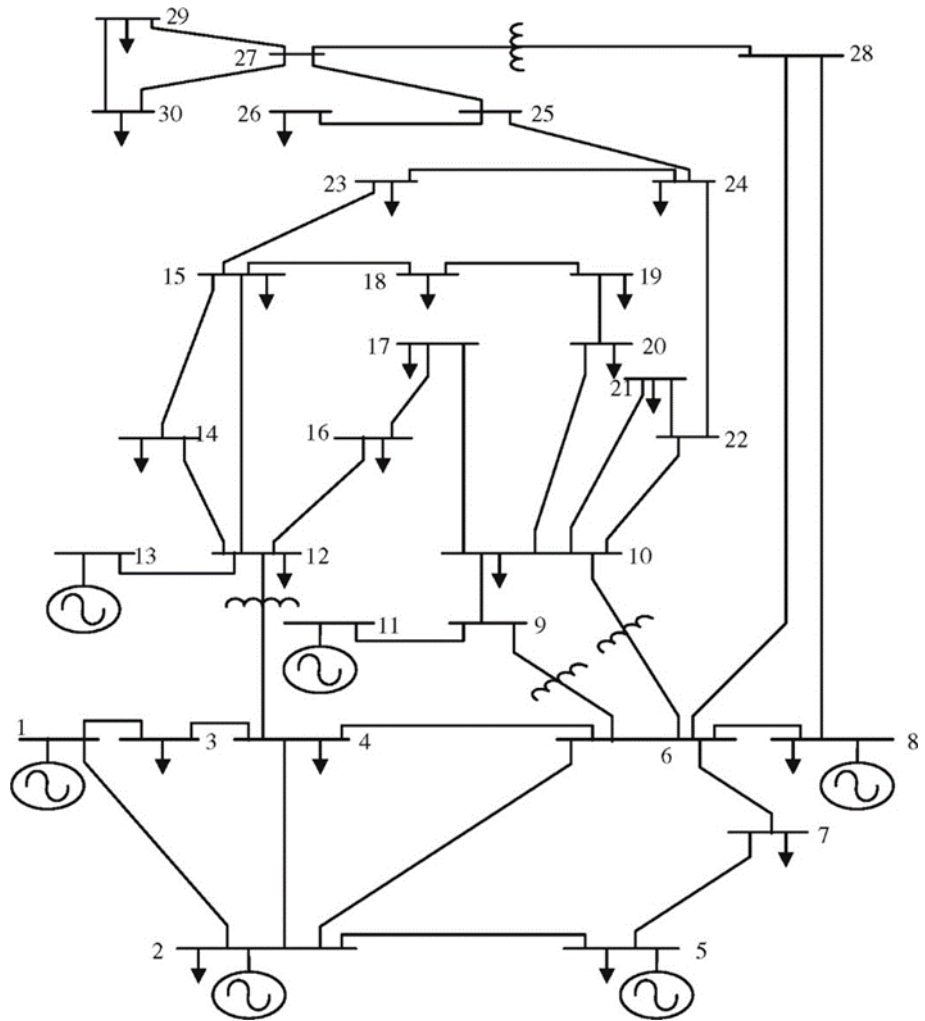


Figure III.1 Schéma unifilaire du système de test IEEE à 30 bus.

On applique l'optimisation d'écoulement de puissance optimale de réseau IEEE 30 nœuds pour trouver les valeurs optimales des variables de contrôle qui sont :

- $P_{G1}, P_{G2}, P_{G5}, P_{G8}, P_{G11}$ et $V_{G1}, V_{G2}, V_{G5}, V_{G8}, V_{G11}$ représentent les puissances et les tensions des générateurs $G_1, G_2, G_5, G_8, G_{11}, G_{13}$.
- $T_{4-12}, T_{6-9}, T_{6-10}$, et T_{28} , sont les réglages des prises du transformateur entre les bus 4-12, 6-9, 6-10 et 28-27.
- $Q_{C10}, Q_{C12}, Q_{C15}, Q_{C17}, Q_{C20}, Q_{C21}, Q_{C23}, Q_{C24}$ et Q_{C29} désignent les compensateurs VAR shunt couplés aux bus 10, 12, 15, 17, 20, 21, 23, 24 et 29.
- En outre, le coût du combustible (\$/h), les pertes de puissance réelle (MW), les pertes de puissance réactive (MVAR), l'écart des tensions de charge par rapport à 1 et l'indice de stabilité.

III.2.2 Méthode d'optimisation :

Les méthodes d'optimisation MFO (Moth-flame Optimisation) et AMFO (Adaptatif Moth-flame Optimisation) ont été implémentée pour résoudre les problèmes de l'écoulement de puissance dans le réseau d'essai IEEE-30 bus et pour un certain nombre de cas avec différentes fonctions objectif. Le programme logiciel utilisé est écrit dans l'environnement MATLAB R2021a et exécuté sur un PC i7 à 2,80 GHz avec 16 Go de RAM

Les paramètres de contrôle pour les deux techniques proposées MFO, AMFO utilisés dans ce problème sont indiqués dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Paramètres de contrôle utilisés dans MFO, AMFO

N° Sr	Paramètres	Value
1	Population (nombre d'agents de recherche) (N)	50
2	Nombre maximal d'itération (t)	150
3	Nombre de variables (dim)	25
4	Nombre aléatoire	[0, 1]

III.2.3 Résultats d'application :

Dans le système de test donné, cinq cas divers ont été considérés pour l'écoulement de puissance optimale :

Cas 1 : Minimisation du coût du combustible de production.

Cas 2 : Amélioration du profil de tension.

Cas 3 : Amélioration de la stabilité de la tension.

Cas 4 : Minimisation des pertes de transmission de puissance active.

Cas 5 : Minimisation des pertes de transmission de puissance réactive.

a) Cas 1 : Minimisation du coût du combustible de production.

L'objectif très courant de l'EPO est la réduction du coût des combustibles pour la production,

La variation du coût total du carburant avec les deux algorithmes au fil des itérations est présentée à la figure III.2. Elle montre que la méthode AMFO présente une convergence exceptionnelle caractéristique.

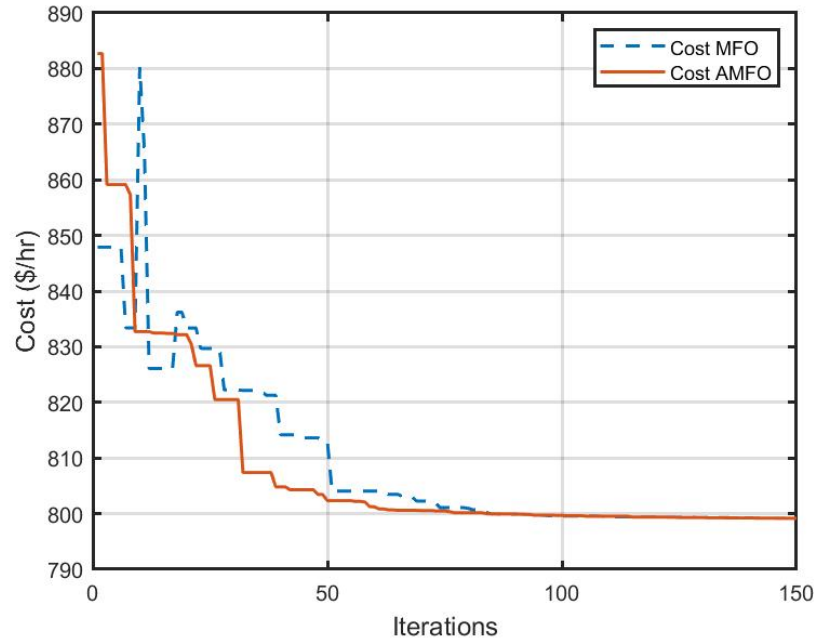


Figure III .2 Variation de cout de combustible

Les valeurs optimales des variables de contrôle et les coûts de carburant obtenus par différentes méthodes sont présentée dans le tableau III.2.

Tableau III.2 Valeur optimal des variables de contrôle pour le cas 1

Variable de contrôle	Min	Max	Initial	MFO	AMFO
P_{G1}	50	200	99.2230	177.0005	177,3209
P_{G2}	20	80	80	48.4050	48,8467
P_{G5}	15	50	50	21.3367	21,4281
P_{G8}	10	35	20	21.4591	20,8168
P_{G11}	10	30	20	11.5115	11,7926
P_{G13}	12	40	20	12.3214	12,0000
V_{G1}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1,1000
V_{G2}	0.95	1.1	1.04	1.0877	1,0849
V_{G5}	0.95	1.1	1.01	1.0622	1,0543
V_{G8}	0.95	1.1	1.01	1.0678	1,0591
V_{G11}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1,0000
V_{G13}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1,0977
T_{4-12}	0	1.1	1.078	0.9749	0,9000
T_{6-9}	0	1.1	1.069	0.9658	1,1000

CHAPITRE III : Résultat et interprétation

T_{6-10}	0	1.1	1.032	1.0066	1,0469
T_{28-27}	0	1.1	1.068	0.9777	0,9874
QC_{10}	0	5	0	0.0074	2,1294
QC_{12}	0	5	0	4.1770	5,0000
QC_{15}	0	5	0	5.0000	5,0000
QC_{17}	0	5	0	4.9802	5,0000
QC_{20}	0	5	0	4.9837	0
QC_{21}	0	5	0	4.8762	0.6110
QC_{23}	0	5	0	4.5535	0
QC_{24}	0	5	0	4.9994	5,0000
QC_{29}	0	5	0	3.5687	5,0000
Cout de carburant (\$/h)	-	-	901.951	799,6376	799.0774

En utilisant les mêmes paramètres, c'est-à-dire les limites des variables de contrôle, les conditions initiales et les données du système, les résultats obtenus avec la technique AMFO sont comparés à l'autre méthode MFO et montrent que le coût total du combustible est considérablement réduit par rapport au cas initial. Quantitativement, il est réduit de 901,951 à **799,0774** \$/h.

b) Cas 2 : Amélioration du profil de tension.

L'objectif est d'augmenter le profil de tension en réduisant l'écart des bus PQ (charge) buses par rapport à l'unité de 1,0 p.u.

La variation du profil de la tension avec différents algorithmes au fil des itérations est illustrée à la figure III.3. Elle montre que la méthode proposée AMFO présente de bonnes caractéristiques de convergence vers une valeur de tension grand en comparant avec l'autre méthode

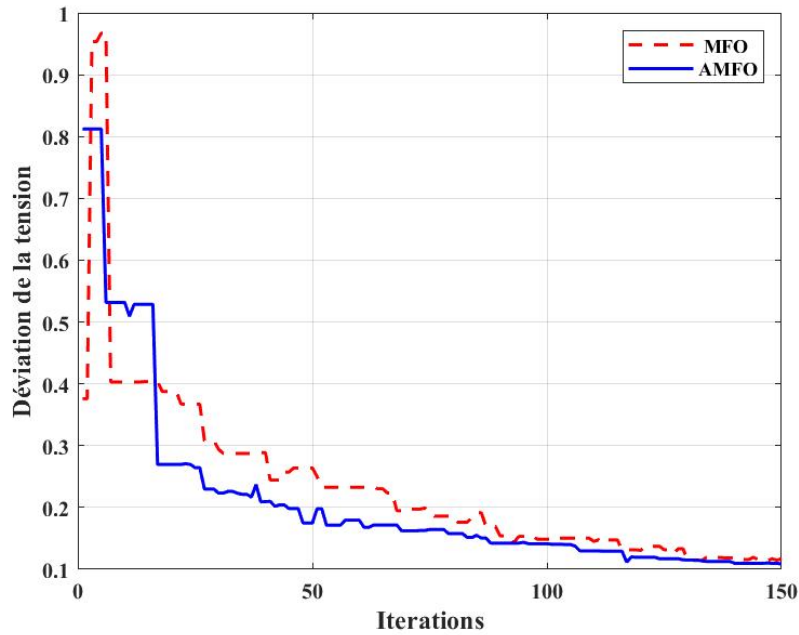


Figure III.3 : Variation de la déviation de tension.

Le tableau suivant présente les valeurs de déviation de tension par les deux méthodes proposées, Les valeurs en gras représentent les meilleures valeurs de l'algorithme AMFO par rapport au MFO.

Tableau III.3 : Comparaison de la valeur de déviation de tension

Méthode	Déviation de tension
MFO	0.1172
AMFO	0.1087

Les résultats obtenus par la méthode AMFO sont comparés à l'autre méthodes MFO et montrent que la déviation de la tension avec la technique AMFO est considérablement réduite par rapport au cas initial. Quantitativement, il est réduit de 1.1496 à **0.1087pu**.

D'outre le résultat optimal, les valeurs des variables de contrôle pour ce cas avec les algorithmes proposés sont présentées dans le tableau suivant :

CHAPITRE III : Résultat et interprétation

Tableau III.4 : Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 2

Variable de contrôle	Min	Max	Initial	MFO	AMFO
P_{G1}	50	200	99.2230	169.9833	181.9777
P_{G2}	20	80	80	44.2682	51.0222
P_{G5}	15	50	50	21.3188	15.0000
P_{G8}	10	35	20	35.0000	22.1144
P_{G11}	10	30	20	10.0000	11.7894
P_{G13}	12	40	20	12.0000	12.0000
V_{G1}	0.95	1.1	1.05	1.0352	1.0456
V_{G2}	0.95	1.1	1.04	1.0170	1.0272
V_{G5}	0.95	1.1	1.01	1.0088	1.0109
V_{G8}	0.95	1.1	1.01	1.0058	0.9985
V_{G11}	0.95	1.1	1.05	1.0858	1.0674
V_{G13}	0.95	1.1	1.05	1.0036	0.9900
T_{4-12}	0	1.1	1.078	1.0856	1.0883
T_{6-9}	0	1.1	1.069	0.9061	0.9000
T_{6-10}	0	1.1	1.032	0.9655	0.9451
T_{28-27}	0	1.1	1.068	0.9581	0.9779
QC_{10}	0	5	0	0.0543	0.2251
QC_{12}	0	5	0	4.9997	0
QC_{15}	0	5	0	0.9419	5.0000
QC_{17}	0	5	0	1.0941	5.0000
QC_{20}	0	5	0	4.9758	4.9627
QC_{21}	0	5	0	4.5840	5.0000
QC_{23}	0	5	0	4.9616	4.9988
QC_{24}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{29}	0	5	0	0.9178	5.0000

c) Cas 3 : Amélioration de la stabilité de la tension.

La stabilité de la tension peut être améliorée en réduisant la valeur de l'indicateur de stabilité de tension L-max à chaque bus du système.

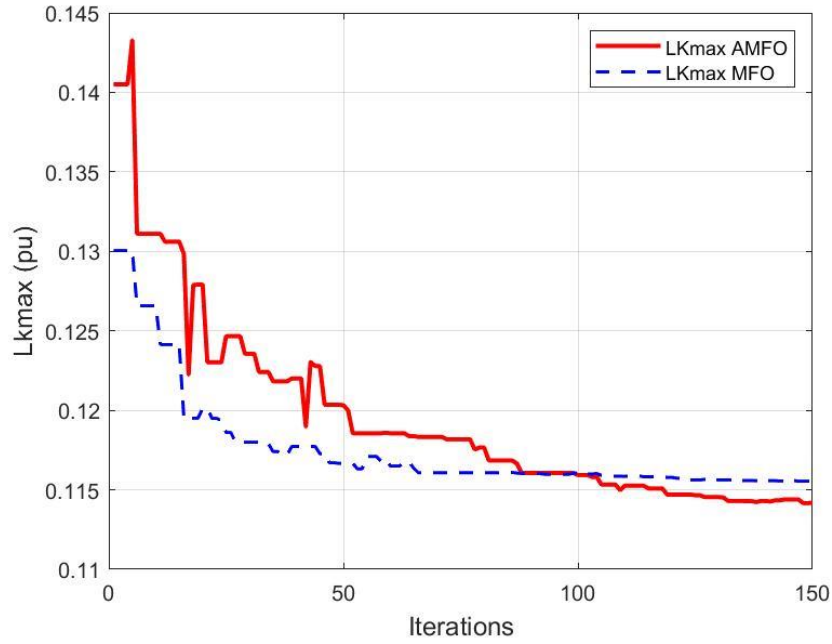


Figure III.4 : Variation de l'indice de la stabilité de la tension

Le tableau suivant présente les valeurs de l'indice de stabilité de la tension par les deux méthodes proposées,

Tableau III.5 : Comparaison de l'indice de stabilité de la tension

Méthode	Indice de stabilité de la tension
MFO	0.1161
AMFO	0.1136

Après l'application du deux techniques MFO et AMFO, il apparaît dans le Tableau III.5 que la valeur de L_{\max} obtenu par l'application de la méthode AMFO est considérablement réduite par rapport à l'autre méthode MFO et aussi par rapport à l'initial, passant de 0,1723 à **0,1136**.

CHAPITRE III : Résultat et interprétation

Tableau III.6 : Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 3

Variable de contrôle	Min	Max	Initial	MFO	AMFO
P_{G1}	50	200	99.2230	173.9178	178,0964
P_{G2}	20	80	80	49.6377	51,1557
P_{G5}	15	50	50	21.2987	19,7184
P_{G8}	10	35	20	23.5963	20,8419
P_{G11}	10	30	20	12.1434	10,0003
P_{G13}	12	40	20	12.0000	12,6601
V_{G1}	0.95	1.1	1.05	1.0663	1,0998
V_{G2}	0.95	1.1	1.04	1.0370	1,0802
V_{G5}	0.95	1.1	1.01	1.0027	1,0532
V_{G8}	0.95	1.1	1.01	1.0169	1,0574
V_{G11}	0.95	1.1	1.05	1.0804	1,1000
V_{G13}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1,0562
T_{4-12}	0	1.1	1.078	0.9000	1,1000
T_{6-9}	0	1.1	1.069	0.9000	0,9021
T_{6-10}	0	1.1	1.032	0.9407	0,9490
T_{28-27}	0	1.1	1.068	0.9114	0,9390
QC_{10}	0	5	0	5.0000	0,0016
QC_{12}	0	5	0	5.0000	4,6332
QC_{15}	0	5	0	5.0000	4,6530
QC_{17}	0	5	0	5.0000	4,9995
QC_{20}	0	5	0	4.9594	5,0000
QC_{21}	0	5	0	5.0000	5,0000
QC_{23}	0	5	0	2.6175	4,9213
QC_{24}	0	5	0	5.0000	5,0000
QC_{29}	0	5	0	4.9926	5,0000

Les valeurs en gras représentent les meilleures valeurs de l'algorithme AMFO par rapport au MFO.

d) Cas 4 : Minimisation des pertes de transmission de puissance active.

Dans le cas 4, l'objectif du flux optimal de puissance est de réduire les pertes de transmission de puissance active.

La figure III.5 montre la tendance à la réduction de la fonction objective des pertes totales de puissance réelle à l'aide des deux techniques, il montre que les résultats obtenus par AMFO donnent de meilleures valeurs que les méthodes MFO.

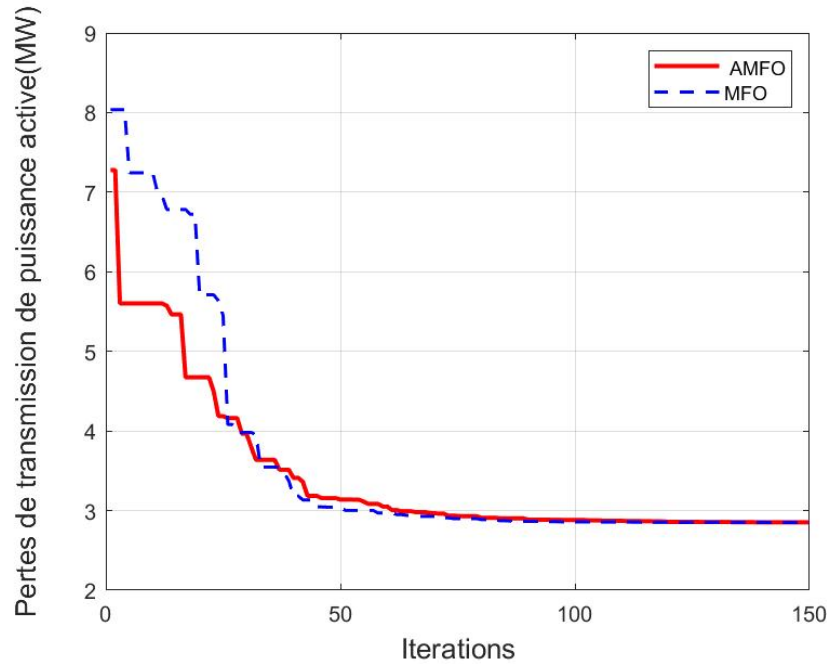


Figure III.5 : Variation de pertes de transmission de puissance active.

Le tableau suivant présente les valeurs de pertes de transmission de puissance active par les deux méthodes proposées,

Tableau III.7 : Comparaison des pertes de transmission de puissance active.

Méthode	Pertes totales de puissance active
MFO	2.853
AMFO	2.851

Le tableau III .7 montre que la valeur de pertes de transmission de puissance active obtenu par la méthode AMFO est considérablement réduite par rapport à l'autre méthode MFO et aussi par rapport à l'initial, passant de 5.821 à **2.851 MW**.

CHAPITRE III : Résultat et interprétation

Le tableau suivant illustre les valeurs optimales des variables de contrôle obtenu par les méthodes proposées pour l'objectif de minimisation des pertes de transmission de puissance active

Tableau III.8 : Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 4

Variable de conrole	Min	Max	Initial	MFO	AMFO
P_{G1}	50	200	99.2230	51.253	51.2506
P_{G2}	20	80	80	80.0000	80,0000
P_{G5}	15	50	50	50,0000	50,0000
P_{G8}	10	35	20	35,0000	35,0000
P_{G11}	10	30	20	30,0000	30,0000
P_{G13}	12	40	20	40.0000	40,0000
V_{G1}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1.1000
V_{G2}	0.95	1.1	1.04	1.0982	1.0972
V_{G5}	0.95	1.1	1.01	1.0800	1.0797
V_{G8}	0.95	1.1	1.01	1.0869	1.0860
V_{G11}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1.1000
V_{G13}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1.1000
T_{4-12}	0	1.1	1.078	1.0561	1.0516
T_{6-9}	0	1.1	1.069	0.9000	0.9002
T_{6-10}	0	1.1	1.032	0.9828	0.9849
T_{28-27}	0	1.1	1.068	0.9731	0.9734
QC_{10}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{12}	0	5	0	5.0000	4.9743
QC_{15}	0	5	0	3.0700	4.8475
QC_{17}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{20}	0	5	0	5.0000	4.9562
QC_{21}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{23}	0	5	0	5.0000	3.6412
QC_{24}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{29}	0	5	0	2.5080	2.4737

e) **Cas 5 : Minimisation des pertes de transmission de puissance réactive.**

L'accessibilité de la puissance réactive est le point principal pour la marge de stabilité de la tension du système statique afin de soutenir le système d'alimentation.

Il est à noter que les pertes de puissance réactive ne sont pas essentiellement positives. La variation des pertes de puissance réactive avec les deux méthodes est illustrée à la figure III.7. Elle montre que la méthode proposée AMFO présente de bonnes caractéristiques de convergence par rapport à l'autre méthode MFO.

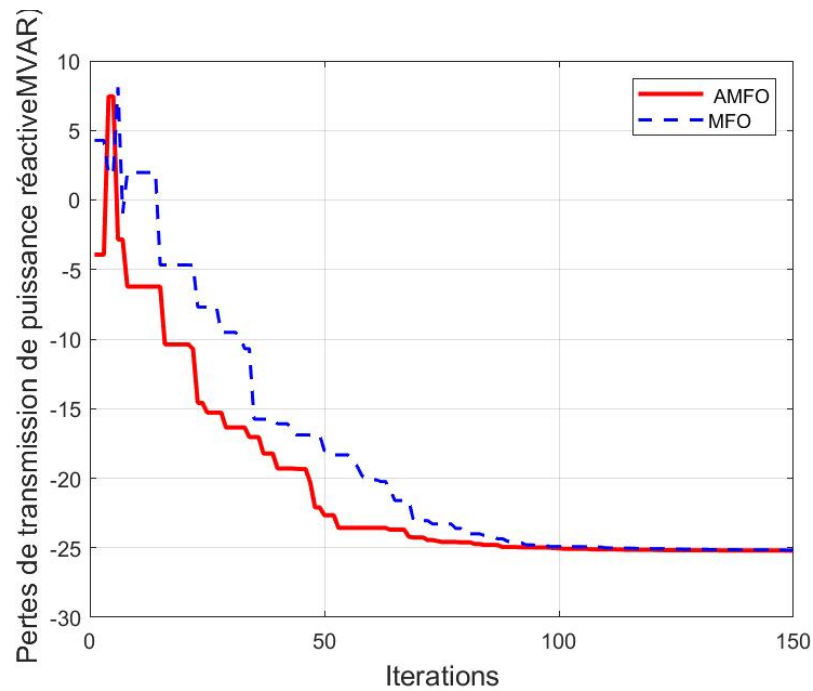


Figure III.6 : Minimisation des pertes de transmission de puissance réactive

Les valeurs statistiques des pertes de puissance réactive obtenues par différentes méthodes sont présentées dans le tableau III.9, On remarque que la perte de transmission de puissance réactive est la plus réduite avec la méthode AMFO, ce qui montre que les résultats obtenus par l'AMFO sont meilleurs que ceux de la méthode MFO.

Tableau III.9 : Comparaison des pertes de transmission de puissance réactive

Méthode	Les pertes de puissance réactive (MVAR)
MFO	-25.202
AMFO	-25.2037

Les valeurs optimales des variables de contrôle obtenues sont présentées dans le tableau suivant :

CHAPITRE III : Résultat et interprétation

Tableau III.10 : Valeurs optimales des variables de contrôle pour le cas 5

Variable de controle	Min	Max	Initial	MFO	AMFO
P_{G1}	50	200	99.2230	51.5757	51.3095
P_{G2}	20	80	80	79.7770	80.0000
P_{G5}	15	50	50	49.9998	50.0000
P_{G8}	10	35	20	34.9977	34.9998
P_{G11}	10	30	20	29.9654	30.0000
P_{G13}	12	40	20	40.0000	39.9995
V_{G1}	0.95	1.1	1.05	1.0999	1.1000
V_{G2}	0.95	1.1	1.04	1.1000	1.1000
V_{G5}	0.95	1.1	1.01	1.0910	1.0916
V_{G8}	0.95	1.1	1.01	1.0997	1.1000
V_{G11}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1.1000
V_{G13}	0.95	1.1	1.05	1.1000	1.1000
T_{4-12}	0	1.1	1.078	1.0035	1.0003
T_{6-9}	0	1.1	1.069	0.9729	0.9667
T_{6-10}	0	1.1	1.032	0.9919	0.9948
T_{28-27}	0	1.1	1.068	0.9907	0.9867
QC_{10}	0	5	0	4.5186	4.9999
QC_{12}	0	5	0	5.0000	4.9996
QC_{15}	0	5	0	4.9074	5.0000
QC_{17}	0	5	0	5.0000	4.9973
QC_{20}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{21}	0	5	0	5.0000	4.9490
QC_{23}	0	5	0	4.9954	5.0000
QC_{24}	0	5	0	5.0000	5.0000
QC_{29}	0	5	0	5.0000	3.6954

CHAPITRE III : Résultat et interprétation

- D'autre part Le tableau III.10 présente les résultats statistiques obtenus par les algorithmes AMFO, MFO, PSO, BHBO et FPA pour les problèmes d'EPO dans divers cas. Notant que ces méthodes sont exécutées avec les même paramètres.

Tableau III.11 : Comparaison de nos méthodes proposée avec différents algorithmes.

Méthode	Cout de combustible	Déviaton de tension	Indicateur de stabilité de tension	Perte de transmission active	Perte de transmission réactive
AMFO	799.0774	0.1069	0.1136	2.851	-25.2037
MFO	799.6376	0.1127	0.1161	2.853	-25.202
PSO [21]	799.704	0.1506	0.1180	3.026	-23.403
BHBO [22]	799.921	0.1262	0.1167	3.503	-20.152
FPA [23]	800.161	0.1845	0.1166	3.115	-25.056

D'abrite le tableau III.11, nous constat que les valeurs optimales obtenus par la méthode AMFO est minimale par rapport aux algorithmes MFO, PSO, BHBO et FPA.

III.2.4 Discussion des résultats :

Les figures III.2, III.3, III.4, III.5, III.6 montrent que l'approche AMFO donne des meilleurs résultats et présentent une convergence rapide par rapport aux méthodes MFO, ce qui confirme l'efficacité de l'algorithme proposé.

D'outre, les résultats de l'AMFO sont comparés à celles du MFO pour différents cas sur ces fonctions mono objectives dans les tableaux III.2, III.3, III.5, III.7, III.9. Comme on a discuté, pour la majorité des caractéristiques, l'AMFO s'est mieux comporté que le MFO. Après avoir validé les performances de l'AMFO, les valeurs optimales des variables de contrôle pour chaque cas sont montrées dans les tableaux III.2, III.4, III.6, III.8, III.10

À partir de tableau III.11, il est clair que les valeurs optimales de la fonction objectif obtenues par la méthode appliquée AMFO est proche pour chaque essai et minimale par rapport aux algorithmes MFO, PSO, BHBO et FPA. Cela prouve la robustesse d'algorithme d'optimisation Moth-Flame Adaptatif (AMFO).

III.3 Conclusion :

Le principal objectif de ce chapitre est de développer une stratégie de planification flexible pour résoudre le problème d'écoulement de puissance optimal (EPO) basée sur deux méthodes méta-heuristique nommées MFO et AMFO. Au premier temps nous avons optimisé les cinq cas de l'EPO par ces méthodes sur le système réseau standard IEEE 30-nœuds. Les résultats d'optimisation obtenus démontrent clairement l'efficacité de la méthode d'optimisation utilisée. AMFO par rapport à MFO. A la fin de ce chapitre nous avons fait une étude comparative avec différents algorithmes de littérature qui nous a confirmé la primauté de l'algorithme proposés et son potentiel à trouver des solutions valides et précises.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce mémoire de fin d'études est d'adapter et d'appliquer des outils d'optimisation basés sur des méthodes méta-heuristiques afin d'améliorer l'efficacité des réseaux électriques en résolvant le problème d'écoulement de puissance optimal. Cela implique de trouver le planning optimal de la production de puissance, des tensions aux bus de génération, des réglages de transformation et des dispositifs réactifs.

Les méthodes proposées sont l'algorithme d'optimisation métaheuristique Moth-flame Optimisation (MFO) et Moth-flame Optimisation adaptative. L'utilisation de ces méthodes vise à résoudre le problème de l'écoulement de puissance optimal dans le but de minimiser les coûts de production, d'optimiser les profils et la stabilité des tensions, ainsi que de réduire les pertes de transmission de puissance active et réactive.

Le modèle a été choisi pour valider nos algorithmes est le réseau test IEEE 30 nœuds (6 unités).

Le programme est élaboré dans l'environnement MATLAB. À la lumière des résultats obtenus, il est clair que les méthodes méta-heuristiques proposées sont appropriées pour déterminer les valeurs optimales de l'écoulement de puissance, offrant ainsi les meilleurs résultats pour tous les cas étudiés, le (AMFO) donne des résultats compétitifs meilleurs que les (MFO) et d'autres littératures pertinentes traitant du sujet. La méthode proposée promet toujours la solution optimale la plus efficace et une convergence rapide.

Comme perspectives, nous suggérons l'exploration d'autres techniques d'optimisation pour résoudre le problème de l'écoulement de puissance optimal avec plusieurs sources et plusieurs objectifs. Cela inclurait la considération d'autres contraintes telles que la minimisation des émissions de gaz et des coûts de production associés aux unités de production conventionnelles. De plus, l'intégration des systèmes FACTS dans le problème de l'EPO en présence d'énergies renouvelables pourrait constituer une autre perspective intéressante à explorer.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques :

- [1] GRTE.
- [2] DRAIDI Abdellah; « Répartition optimale des puissances utilisant les techniques de l'intelligence artificielle » Thèse de Doctorat En Électrotechnique ; Université Des Frères Mentouri CONSTANTINE Soutenance le : 11/07/2016.
- [3] Ahmed Ould Nagi, << Optimisation de l'écoulement de puissance Par algorithmes : AG et PSO-TVAC >>, Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme : MASTER, U-Mohamed Khider Biskra, Algérie, Juin 2014.
- [4] Wael AMOR, <<Ecoulement de puissance pour les réseaux de grande dimension et malconditionnés>>, Mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise avec mémoire en génie électrique, école de technologie supérieure université du Québec, aout 2018.
- [5] M.S. Osman, M.A. Abo Sinna, A.A. Mousa, << A solution to the optimal power flow using genetic algorithm >>, International Journal of Applied Mathematics and Computation, Vol. 155, No. 2, August 2004, pp. 391 405.
- [6] M.A. Abido, << Optimal power flow using tabu search algorithm >> International Journal of Electric Power Components and Systems >>, Vol. 30, No. 5, 2002, pp. 469 483.
- [7] T.J. Overbye, C.L. Demarco, << Voltage security enhancement using energy-based sensitivities >> IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991, pp. 1196 1202.
- [8] Bouchekara HREH, Abido MA, Chaib AE, Mehasni R (2014) Optimal power flow using the league championship algorithm: a case study of the Algerian power system. Energy Convers Manag 87:58–70
- [9] Lee K, Park Y, Ortiz J (1985) A united approach to optimal real and reactive power dispatch. IEEE Trans Power Appl Syst 104(5):1147–1153
- [10] ASMA ZAOU, Wafa REGOUTA, "REPARTITION OPTIMALE DES PUISSANCES DANS UN RESEAU ELECTRIQUE PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE",mémoire présenté pour obtenir le diplôme de master académique en génie électrique, Université El-chahid Hamma Lakhdar El-Oued 2021.
- [11] GACEM ABDELMALEK, "utilisation des méthodes d'optimisations métaheuristiques pour la résolution du problème de répartition optimale de la puissance dans les réseaux électriques",mémoire présenté pour obtenir le diplôme de magister en électrotechnique, Université Mohamed Lakhdar Ben Amara d'El Oued 2010.

- [12] ADJOUDJ Labiba; « Contribution à l'étude de l'OPF du réseau Algérien basée sur les énergies renouvelables et les FACTS » Thèse de Doctorat en Électrotechnique option: Réseaux Electriques; Université Djillali Liabes de Sidi-Bel-Abbes, Soutenu le: .../12/ 2018.
- [13] Housseem Bouchekara; « Solution of the optimal power flow problem considering security constraints using an improved chaotic electromagnetic field optimization algorithm », Neural Computing and Applications, <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04298-3>, 2019.
- [14] SEBAA Haddi; « Contribution à l'optimisation de l'insertion des énergies renouvelables dans un réseau électrique intelligent (Smart Grid) », Thèse de Doctorat En Sciences option : Réseaux électriques; Université Ferhat Abbas - SETIF1 Soutenu le : 28/11/2019.
- [15] GACEM Abdelmalek; « Commande Robuste d'un Dispositif FACTS par les Méthodes Métaheuristiques pour la Stabilité de Tension d'un Réseau Electrique »; Thèse de Doctorat en sciences Option: Réseaux Electriques; Université Mohamed Khider– BISKRA Soutenu le : 15/04/2019.
- [16] Aloui Mourad " Application de la méthode des Essaims de particules au Dispatching économique ", Mémoire de Fin d'Etude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER académique, 2013 Université Mohamed Khider Biskra.
- [17] KHAMED Okba, "Dispatching économique dynamique des réseaux électriques par les méthodes méta-heuristique", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme de Master en réseaux électriques, Université Mohamed Khider Biskra 2012 / 2013.
- [18] BOURZAMI Arif : « Contribution à l'étude de la stabilité des grands réseaux électriques dans un marché de l'électricité dérégulé en présence des sources d'énergie renouvelable par la logique floue », Thèse de Doctorat en Sciences Option : Machines électriques et leurs commandes ; Université Ferhat Abbas- SETIF 1, soutenu 2019.
- [19] BOUROUBA Bachir; « Contribution à la Commande Adaptative Optimale d'Ordre Fractionnaire » Thèse De Doctorat En Électronique Option : Contrôle Des Systèmes, Soutenu le: 30/01/ 2018.
- [20] BOURZAMI Arif; « Contribution à l'étude de la stabilité des grands réseaux électriques dans un marché de l'électricité dérégulé en présence des sources d'énergie renouvelable par la logique floue », Thèse de Doctorat en Sciences Option: Machines électriques et leurs commandes; Université Ferhat Abbas- SETIF 1, soutenu 2019.
- [21] Saravanan M, Slochanal SM, Venkatesh P, Abraham J (2007) Application of particle swarm optimization technique for optimal location of FACTS devices considering cost of installation and system loadability. Electr Power Syst Res 77:276–283.

[22] Bouchekara HREH (2014) Optimal power flow using black-holebased optimization approach. *Appl Soft Comput* 24:879–888.

[23] Yang XS (2012) Flower pollination algorithm for global optimization. In: *Proceedings of the unconventional computation and natural computation, lecture notes computer science*, vol 7445, pp 240–249.

[24] Indrajit N. Trivedi¹, Pradeep Jangir, Siddharth A. Parmar, Narottam Jangir « Optimal power flow with voltage stability improvement and loss reduction in power system using Moth-Flame Optimizer » *The Natural Computing Applications Forum* 2016.

ANNEXES

Annexe 1 :

A.1 Les données du réseau IEEE-30 nœuds

Les valeurs initiales de IEEE 30-nœuds :

Tableau (A.1) : Paramètres des nœuds du réseau IEEE 30-nœuds

Nœud	Type	Pd (MW)	Qd (Mvar)	Base (Kv)	V ^{max} (P.u)	V ^{min} (P.u)
1	3	0	0	135	1.05	0.95
2	2	21.7	12.7	135	1.1	0.95
3	1	2.4	1.2	135	1.05	0.95
4	1	7.6	1.6	135	1.05	0.95
5	1	94.2	19	135	1.05	0.95
6	1	0	0	135	1.05	0.95
7	1	22.8	10.9	135	1.05	0.95
8	1	30	30	135	1.05	0.95
9	1	0	0	135	1.05	0.95
10	1	5.8	2	135	1.05	0.95
11	1	0	0	135	1.05	0.95
12	1	11.2	7.5	135	1.05	0.95
13	2	0	0	135	1.1	0.95
14	1	6.2	1.6	135	1.05	0.95
15	1	8.2	2.5	135	1.05	0.95
16	1	3.5	1.8	135	1.05	0.95
17	1	9	5.8	135	1.05	0.95
18	1	3.2	0.9	135	1.05	0.95
19	1	9.5	3.4	135	1.05	0.95
20	1	2.2	0.7	135	1.05	0.95
21	1	17.5	11.2	135	1.05	0.95
22	2	0	0	135	1.1	0.95
23	2	3.2	1.6	135	1.1	0.95
24	1	8.7	6.7	135	1.05	0.95
25	1	0	0	135	1.05	0.95
26	1	3.5	2.3	135	1.05	0.95
27	2	0	0	135	1.1	0.95
28	1	0	0	135	1.05	0.95
29	1	2.4	0.9	135	1.05	0.95
30	1	10.6	1.9	135	1.05	0.95

Tableau (A.2) : Paramètres des lignes du réseau IEEE 30-nœuds

Ligne	De bus	Vers bus	Résistance (P.u)	Réactance (P.u)	Susceptance (P.u)
1	1	2	0.0192	0.0575	0.0528
2	1	3	0.0452	0.1652	0.0408
3	2	4	0.057	0.1737	0.0368
4	3	4	0.0132	0.0379	0.0084
5	2	5	0.0472	0.1983	0.0418
6	2	6	0.0581	0.1763	0.0374
7	4	6	0.0119	0.0414	0.009
8	5	7	0.046	0.116	0.0204
9	6	7	0.0267	0.082	0.017
10	6	8	0.012	0.042	0.009
11	6	9	0	0.208	0
12	6	10	0	0.556	0
13	9	11	0	0.208	0
14	9	10	0	0.11	0
15	4	12	0	0.256	0
16	12	13	0	0.14	0
17	12	14	0.1231	0.2559	0
18	12	15	0.0662	0.1304	0
19	12	16	0.0945	0.1987	0
20	14	15	0.221	0.1997	0
21	16	17	0.0524	0.1923	0
22	15	18	0.1073	0.2185	0
23	18	19	0.0639	0.1292	0
24	19	20	0.034	0.068	0
25	10	20	0.0936	0.209	0
26	10	17	0.0324	0.0845	0
27	10	21	0.0348	0.0749	0
28	10	22	0.0727	0.1499	0
29	21	22	0.0116	0.0236	0
30	15	23	0.1	0.202	0
31	22	24	0.115	0.179	0
32	23	24	0.132	0.27	0
33	24	25	0.1885	0.3292	0
34	25	26	0.2544	0.38	0
35	25	27	0.1093	0.2087	0
36	28	27	0	0.396	0
37	27	29	0.2198	0.4153	0
38	27	30	0.3202	0.6027	0
39	29	30	0.2399	0.4533	0
40	8	28	0.0636	0.2	0.0428
41	6	28	0.0169	0.0599	0.01

Tableau (A.3) : Paramètres des transformateurs du réseau IEEE 30-nœuds

Transformateurs	De bus	Vers bus	Rapport de Transformation
1	6	9	0.978
2	6	10	0.969
3	4	12	0.932
4	28	27	0.968

Tableau (A.4) : Paramètres des générateurs du réseau IEEE 30-nœuds

Générateur	Bus	P_{min} (MW)	P_{max} (MW)	Q_{min} (Mvar)	Q_{max} (Mvar)	a (\$/h)	b (\$/MWh)	c (\$/MW²h)
1	1	50	200	0	0	0	2	0.00375
2	2	20	80	-20	100	0	1.75	0.0175
3	5	15	50	-15	80	0	1	0.0625
4	8	10	35	-15	60	0	3.25	0.00834
5	11	10	30	-10	50	0	3	0.025
6	13	12	40	-15	60	0	3	0.0

المخلص

لقد اجتذب حل مشكلات التدفق الأمثل للقدرة الكهربائية (EPO) اهتمامًا متزايدًا في السنوات الأخيرة في مجال شبكات الطاقة، بهدف تحديد الإعدادات المثلى للمعدات لتقليل التكاليف أو تحقيق أهداف محددة مع احترام تقنيات القيود. ومع ذلك، فإن الطرق التقليدية غالبًا ما تواجه صعوبة في التغلب على تعقيد هذه المشكلات. تسلط هذه الأطروحة الضوء على فعالية خوارزمية تحسين الفراشة واللهب (MFO) بالإضافة إلى تكيفه (AMFO) لحل مشكلات (EPO) بكفاءة، مع التركيز على خمسة أهداف متميزة: تقليل تكلفة الوقود، وتحسين استقرار التوتر، وتقليل انحراف التوتر، وتقليل فقدان الاستطاعة الفعالة وتقليل فقدان الاستطاعة الرديئة. تتم مقارنة أداء الخوارزمية المعدلة (AMFO) بتقنيات التحسين المختلفة، ويتم التحقق من صحة النتائج على شبكة IEEE ذات 30 عقدة. يساهم هذا العمل في اقتراح نهج فعال لحل هذه المشاكل المعقدة في مجال أنظمة الطاقة.

الكلمات المفتاحية: التدفق الأمثل للقدرة الكهربائية (EPO)؛ دالة الهدف؛ خوارزميات عشوائية؛ خوارزمية تحسين الفراشة واللهب (MFO)؛ خوارزمية تحسين الفراشة واللهب المتكيفة (AMFO)

Résumé

La résolution des problèmes d'écoulement de puissance optimal (EPO) a suscité un intérêt croissant ces dernières années dans le domaine des réseaux électriques, visant à déterminer les réglages optimaux des équipements pour minimiser les coûts ou atteindre des objectifs spécifiques tout en respectant les contraintes techniques. Cependant, les méthodes traditionnelles se heurtent souvent à la complexité de ces problèmes. Ce mémoire met en évidence l'efficacité de l'algorithme d'optimisation Moth-Flame (MFO) ainsi que de son adaptation (AMFO) pour résoudre efficacement ces problèmes EPO, en se concentrant sur cinq objectifs distincts : la réduction des coûts de carburant, l'amélioration de la stabilité de tension, la minimisation de l'écart de tension, la réduction des pertes de puissance active et la minimisation des pertes de puissance réactive. Les performances de l'algorithme adapté (AMFO) sont comparées à différentes techniques d'optimisation, et les résultats sont validés sur un réseau test IEEE 30 nœuds. Ce travail contribue à la recherche en proposant une approche efficace pour résoudre ces problèmes complexes dans le domaine des systèmes électriques.

Mots clés : Ecoulement de Puissance Optimal (OPF), Fonction objectif, Méta-heuristique, l'algorithme d'optimisation Moth-Flame (MFO), l'algorithme d'optimisation adaptative Moth-Flame (AMFO).

Abstract

The resolution of optimal power flow (OPF) problems has garnered increasing interest in recent years in the field of electrical networks, aiming to determine the optimal settings of equipment to minimize costs or achieve specific objectives while respecting technical constraints. However, traditional methods often struggle with the complexity of these problems. This dissertation highlights the effectiveness of the Moth-Flame optimization algorithm (MFO) and its adaptation in efficiently solving these OPF problems, focusing on five distinct objectives: fuel cost reduction, voltage stability improvement, voltage deviation minimization, active power loss reduction, and reactive power loss minimization. The performance of the adapted algorithm (AMFO) is compared to various optimization techniques, and the results are validated on an IEEE 30 bus test network. This work contributes to research by proposing an effective approach to solving these complex problems in the field of electrical systems.

Keywords: Optimal Power Flow (OPF), objective function, Meta-heuristic, Moth-Flame optimization algorithm (MFO), the adaptive moth flame optimization (AMFO) algorithm.



غرداية في: 11/05/2024

إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسماؤهم:

1. الطالب (ة): دليلة لحسن

2. الطالب (ة): عمار بلقاسم

تخصص: طاقات متجددة في الكهروتقني

نمنح نحن الأستاذ (ة):

الاسم واللقب	الرتبة - الجامعة الأصلية	الصفة	الامضاء
رحوي أحمد	أستاذ محاضر ب	مصحح (1)	
مرطات فضيلة	أستاذ مساعد ب	مصحح (2)	
مدهوري انفال	أستاذ مساعد ب	مؤطر	
عكرمي فوزي	أستاذ مساعد أ	رئيس اللجنة	

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة ماستر الموسومة بعنوان

Résolution de problème de l'équilibrage de puissance optimale
dans un réseau électrique en utilisant une nouvelle technique
d'optimisation.

إمضاء رئيس القسم

قسم الآلية
والكهروميكانيك ورئيس
كلية العلوم و التكنولوجيا
عبد اللطيف
الكهروميكانيك